



14

[0001] Die Erfindung betrifft eine Fahrzeuglenkung und ein Achslenkmodul für eine Fahrzeuglenkung.

[0002] Heutige Fahrzeuge, insbesondere Personenkraftwagen, sind in der Regel mit hydraulischen Servolenkungen ausgestattet, bei denen ein Lenkhandrad mechanisch mit den lenkbaren Fahrzeugrädern zwangsgekoppelt ist.

[0003] Es ist bekannt, die lenkbaren Fahrzeugräder antriebsmäßig mit einem Servomotor zu koppeln, welcher in Abhängigkeit von den zwischen Lenkhandrad und gelenkten Fahrzeugrädern übertragenen Kräften bzw. Momenten gesteuert wird, um die für das jeweilige Lenkmanöver an der Lenkbetätigungseinrichtung notwendige Handkraft zu vermindern.

[0004] Ferner sind Fahrzeuglenkungen bekannt, bei denen die Lenkbetätigungseinrichtung und die gelenkten Fahrzeugräder nur über eine Regelstrecke gekoppelt sind und wobei eine mechanische Verbindung zwischen dem Lenkhandrad und den Fahrzeugrädern nicht mehr vorliegt.

[0005] Oftmals aber wird auf einen mechanischen Durchtrieb zwischen Lenkhandradhandhabe und gelenkten Fahrzeugrädern nicht völlig verzichtet. Dann ist es vorgesehen, den mechanischen Durchtrieb bei fehlerfrei arbeitender Regelstrecke aufzutrennen und damit unwirksam zu machen. Wenn jedoch in der Regelstrecke, die sich ständig selbst auf Fehler überwacht, eine Fehlfunktion festgestellt werden sollte, wird der mechanische Durchtrieb automatisch wirksam geschaltet. Der mechanische Durchtrieb bildet so eine "mechanische Notfallebene" bei eventuellen Fehlfunktionen der Regelstrecke.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es nun, eine vorteilhafte Ausgestaltung für eine Fahrzeuglenkung und eine lenkbare Fahrzeugachse aufzuzeigen, die keine mechanische Verbindung zwischen dem Lenkhandrad und den Fahrzeugrädern aufweist, aber eine sichere und zuverlässige Lenkfunktion gewährleistet.

[0007] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Lenkung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0008] Die Aufgabe wird durch eine Fahrzeuglenkung gelöst, mit einer vom Fahrer betätigbaren Lenkbetätigungseinrichtung, insbesondere Lenkhandrad, mit mindestens einem Betätigungskraftsimulator, mit jeweils einem elektromechanischen Stellaggregat zum Steuern jeweils eines rechts und links an einem Fahrzeugkörper befindlichen lenkbaren Rades eines Radpaares einer lenkbaren Fahrzeugachse, mit Mitteln, die bei einem Ausfall oder einer Störung eines der beiden einer lenkbaren Fahrzeugachse zugeordneten Stellaggregate durch das jeweils andere, noch funktionstüchtige Stellaggregat die Steuerung der beiden Fahrzeugräder dieser Fahrzeugachse sicherstellen, mit mindestens einem von der Lenkbetätigungseinrichtung betätigbaren Sollwertgeber für einen einzustellenden Lenkwinkel, mit mindestens einem den Lenkwinkel der Fahrzeugräder registrierenden Istwertgeber, mit einer Zentralsteuereinheit, die in Abhängigkeit von einem Vergleich eines Signals des Istwertgebers (Istwert) mit einem Signal des Sollwertgebers (Sollwert) die elektromechanischen Stellaggregate steuert. Mit der erfindungsgemäßen Fahrzeuglenkung lassen sich vergleichsweise kleine Stellwege und hohe Stellgeschwindigkeiten erreichen.

[0009] Da bei dieser Fahrzeuglenkung keine direkte mechanische Verbindung zwischen der Lenkbetätigungseinrichtung und den elektromechanischen Stellaggregaten besteht, geht dem Fahrer die ihm darüber herkömmlicherweise vermittelte Rückmeldung bezüglich des jeweiligen Len-

kungszustands verloren. Daher ist es der mindestens eine Betätigungskraftsimulator vorgesehen, der auch Lenkbetätigungseinrichtung selbst aktiv auslenkbar auszugestalten. So kann einerseits die auf Lenkbetätigungseinrichtung ausgeübte Betätigungskraft die Lenkwinkel-Sollwertvorgabe beeinflussen und darüber kann eine intuitive Rückmeldung einer oder mehrerer fahrdynamischer Größen erfolgen.

[0010] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass jedes elektromechanische Stellaggregat jeweils von einer unabhängigen Energieversorgungsquelle versorgt wird. Vorzugsweise sind die unabhängigen Energieversorgungsquellen zwei unabhängige Fahrzeugbatterien, die vorzugsweise eine gegenüber eines konventionellen Bordnetzes höhere elektrische Spannung, insbesondere ca. 36 bis 42 V, aufweisen.

[0011] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Zentralsteuereinheit "fail-silent" ausgebildet ist und eine redundante Rechneinheit aufweist.

[0012] Unter dem Begriff "eine redundante Rechneinheit" ist hier eine Rechneinheit mit einer redundanten Architektur, somit mit zwei Rechnern, zu verstehen. Der Begriff "fail-silent" bedeutet hier, dass bei einem Fehler die Zentralsteuereinheit sich ruhig verhält und keine Steuerfunktionen auf andere Systembauteile ausübt. Dabei werden Fehlfunktion festgestellt durch ein selbstständiges Überprüfen der Zentralsteuereinheit, insbesondere durch eine Fehlererkennungsschaltung, zum Beispiel einen Vergleich, der die aus den beiden Rechnern der redundanten Rechneinheit ausgegebenen Werte oder Signale vergleicht. Im Falle einer Fehlfunktion eines Rechners, die zu bestimmten Abweichungen der beiden Werte oder Signale führt, schaltet dann die Zentralsteuereinheit selbstständig ab (fail-silent).

[0013] Die Zentralsteuereinheit steuert die Stellaggregate in Abhängigkeit von zumindest einem Soll-Istwert-Vergleich und gegebenenfalls weiterer Größen. Dazu steuert die Zentralsteuereinheit die Stellaggregate derart, dass ein Stellaggregat zur Lenkverstellung der Fahrzeugräder einen Steilhub ausführt, bei dem der vom Istwertgeber erfasste Istwert des Lenkwinkels auf den vom Sollwertgeber vorgegebenen Lenkwinkel-Sollwert eingeregelt wird, der durch eine Betätigung der Lenkbetätigungseinrichtung vorgegeben wird. Gegebenenfalls kann dieser Sollwert durch weitere Größen modifiziert werden, um zum Beispiel auf das Fahrzeug einwirkende Störkräfte zumindest teilweise auszuregulieren. Weitere Größen sind vorteilhaft die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, die Fahrstabilität, insbesondere das Giermoment oder der Schwimmwinkel des Fahrzeugs, der Fahrbahnzustand und/oder andere Einflüsse, wie beispielsweise Seitenwind. Es ist vorgesehen auch eine Dämpfungsfunktion zur Kompensation einer zu heftigen Fahrerbetätigung der Lenkbetätigungseinrichtung durch eine entsprechende Steuerfunktion zu integrieren.

[0014] Vorzugsweise aber wird der Lenkwinkel-Sollwert für das Stellaggregat zumindest abhängig von der auf die Lenkbetätigungseinrichtung ausgeübten Betätigungskraft und von der momentanen Fahrzeuglängsgeschwindigkeit variabel vorgegeben, um eine geschwindigkeitsabhängige Lenkübersetzung und Lenkunterstützung zu erzielen. Dazu wird die Zentralsteuereinheit eingangsseitig mit Sensoren verbunden, deren Signale mit den an den lenkbaren Fahrzeugrädern auftretenden Lenkkräften korreliert sind. Beispielsweise können die Sensoren die Kräfte in den Stellaggregaten erfassen. Des weiteren kann die Zentralsteuereinheit eingangsseitig noch mit Sensoren verbunden sein, durch die vorzugebende Parameter erfasst werden, z. B. die Querschleunigung, und/oder die Giergeschwindigkeit des Fahrzeuges.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Stellaggregate "fail-silent" ausgebildet sind und zumindest einen elektromechanischen Aktor und jeweils eine redundante elektronische Baueinheit aufweisen.

[0016] Unter dem Begriff "eine redundante elektronische Baueinheit" ist hier eine Baueinheit mit einer redundanten Architektur, mit vorzugsweise zwei Rechnern, zu verstehen. Der Begriff "fail-silent" bedeutet hier, dass sich die elektronische Baueinheit im Fehlerfall ruhig verhält und keine Steuerfunktionen auf andere Systembauteile ausübt. Durch selbstständiges Überprüfen der elektronischen Baueinheit werden Fehlfunktion festgestellt, wobei mittels einer Fehlererkennungsschaltung, beispielsweise einen Vergleich, eventuelle Abweichungen zwischen den aus den beiden Rechnern der redundanten Rechneinheit ausgegebenen Werten oder Signalen festgestellt werden, die dann zu einem selbstständigen Abschalten der elektronischen Baueinheit führen (fail-silent).

[0017] Insgesamt weist die erfindungsgemäße Fahrzeuglenkung somit vorzugsweise zumindest vier, den Stellaggregaten zugeordnete Rechner und zwei, der Zentralsteuereinheit zugeordnete Rechner auf.

[0018] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die elektronischen Baueinheiten, insbesondere Rechneinheiten, der Stellaggregate einem erkannten Fehler basierend auf lokalen aktorspezifischen Signalen, wie Aktorstrom oder Aktorposition durchführen und bei einer Fehlererkennung eine entsprechende Meldung an das System der Fahrzeuglenkung ausgeben und das fehlerhafte Stellaggregat abschalten. Daher sind die Stellaggregate stromlos offen. Das bedeutet, das abgeschaltete Stellaggregat kann durch das noch funktionstüchtige Stellaggregat bei einer Lenkbetätigung passiv "mitgeschleppt" werden.

[0019] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Fahrzeuglenkung zwei Sollwertgeber für den einzustellenden Lenkwinkel und zwei den Lenkwinkel der Fahrzeugräder registrierende Istwertgeber aufweist. Somit kann bei einem Ausfall eines Sollwert- und/der Istwertgebers durch den jeweils anderen, noch funktionstüchtigen Sollwert- und/der Istwertgeber ein Signal zur Steuerung der Lenkung erzeugt werden.

[0020] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass der/die Sollwertgeber für den einzustellenden Lenkwinkel und der/die den Lenkwinkel der Fahrzeugräder registrierenden Istwertgeber redundant ausgeführt sind.

[0021] Unter dem Begriff "redundanter Sollwertgeber" ist hier ein Sollwertgeber, vorzugsweise ein Sensor für den Drehwinkel des Lenkhandrads, zu verstehen, der zumindest zwei Meßfühler für den Drehwinkel und mindestens einen Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler) und einen Vergleich aufweist. Der redundante Sollwertgeber ist vorteilhaft "fail-silent" ausgeführt. Das bedeutet, dass sich der Sollwertgeber im Fehlerfall ruhig verhält und keine Steuerfunktionen auf andere Systembauteile ausübt. Durch selbstständiges Überprüfen des Sollwertgebers werden Fehlfunktion festgestellt, wobei mittels des Vergleichers eventuelle Abweichungen zwischen den aus den Meßfühlern ermittelten Werte oder Signale festgestellt werden, die dann zu einem selbstständig Abschalten des Sollwertgebers führen (fail-silent). Das Signal des jeweils anderen, noch funktionstüchtigen redundanten Sollwertgebers wird dann zur Steuerung der Lenkung verwendet.

[0022] Der Begriff "redundanter Istwertgeber" bedeutet hier einen Sensor für die Stellung der lenkbaren Räder, insbesondere für den Weg einer zugehörigen Spurstange der

Lenkung. Dieser redundante Sensor weist ebenfalls zumindest zwei Meßfühler für den Verstellweg, insbesondere Spurstangenweg und mindestens einen Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler) und einen Vergleich auf. Der redundante Istwertgeber ist ebenfalls vorteilhaft "fail-silent" ausgeführt und verhält sich im Fehlerfall ruhig und übt dann keine Steuerfunktionen auf andere Systembauteile aus. Durch selbstständiges Überprüfen des Istwertgebers werden Fehlfunktion festgestellt, wobei mittels des Vergleichers eventuelle Abweichungen zwischen den aus den Meßfühlern ermittelten Werten oder Signalen festgestellt werden, die dann zu einem selbstständig Abschalten des Sollwertgebers führen (fail-silent). Das Signal des jeweils anderen, noch funktionstüchtigen redundanten Istwertgebers wird dann zur Steuerung der Lenkung verwendet.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass als Datenübertragungseinheit ein zumindest zwischen den Stellaggregaten und der Zentralsteuereinheit doppelt ausgeführter Datenbus vorgesehen ist. Das bedeutet jedes Stellaggregat ist mit zwei Datenbusleitungen verbunden, damit bei einem Fehler in einem Bus der jeweils andere Datenbus für die Steuerung der Lenkung zur Verfügung steht.

[0024] Gemäß einer anderen bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass als Datenübertragungseinheit zwischen den Stellaggregaten und der Zentralsteuereinheit jeweils ein Datenbus vorgesehen ist. Hier wird jeweils ein Stellaggregat an jeweils einen Bus angekoppelt, so dass die beiden Stellaggregate über jeweils einen im Grundsatz vom anderen Bus unabhängigen Datenbus gesteuert werden. Die beiden Busse sind hier vorzugsweise auch räumlich getrennt ausgeführt, damit beispielsweise kein elektrischer Kurzschluss an einem (gemeinsamen) Stecker, zum Beispiel ein gemeinsamer Stecker bei dem Ein- und Ausgang an der Zentralsteuereinheit, auftreten kann, wodurch die Funktion des gesamten Systems gefährdet wäre. Bei dieser Ausführungsform ist es auch vorgesehen, dass die beiden Busse in einen separaten, vorzugsweise redundanten Fahrzeugrechner gekoppelt sind. Das bedeutet in diesem zentralen Fahrzeugrechner, der vorzugsweise auch noch weitere Fahrzeugfunktionen, wie Bremssystem oder Motormanagement steuern kann, werden beide Busse der Lenkung zusammengeführt und über die beiden Busse anliegende Informationen ausgewertet und ausgetauscht. Damit wird jedem an den Bussen angeschlossenen Teilnehmer übermittelt, welche Teilnehmer vorhanden sind und ggf. welchen Status diese haben, wodurch bei einer Störung oder einem Ausfall eines Teilnehmers die anderen Teilnehmer entsprechend reagieren können.

[0025] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Datenbusse Teil eines Fahrzeugbussystems, insbesondere CAN sind.

[0026] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Zentralsteuereinheit mit einem Fahrzeugbussystem, insbesondere CAN, verbunden ist, zum Empfang von Informationen über den insbesondere aktuellen Fahrzeugzustand.

[0027] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Lenkbetätigungseinrichtung antriebsmäßig mit einem mechanischen oder mechanisch-hydraulischen, ersten Betätigungskraftsimulator verbundenen ist, zur Simulation eines bestimmten, vorgegebenen Betätigungswiderstands, insbesondere Drehwiderstands, und dass die Lenkbetätigungseinrichtung mit einem elektrisch betätigbaren, vorzugsweise parameterabhängigen, zweiten Betätigungskraftsimulator, wirkungsmäßig verbunden ist, der nach Maßgabe zumindest des Istwerts und gegebenenfalls weiterer Signale, insbesondere dynami-

sche Fahrzeugzustands-Signale, wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Fahrzeug-Gierwinkel, Fahrzeug-Längs- oder Querbesehleunigung, oder Fahrbahnzustands-Signale, wie aktuelle Haftreibung, den zweiten Betätigungskraftsimulator steuert. Der Betätigungskraftsimulator ist damit "fail-safe" ausgebildet: der erste Betätigungskraftsimulator dient als Rückfallebene bei einem Ausfall des zweiten Betätigungskraftsimulators. Vorzugsweise weist der erste Betätigungskraftsimulator elastische Mittel auf, um der Lenkbetätigungseinrichtung eine dem Fahrer zumindest annähernd gewohnte Betätigungskraft aufzuprägen. Vorteilhaft ist der erste Betätigungskraftsimulator so ausgelegt, dass der elastische Widerstand progressiv anwächst, wenn die Lenkbetätigungseinrichtung aus einer Mittellage zunehmend wegbewegt, insbesondere verdreht, wird.

[0028] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Zentralsteuereinheit mit einem elektronischen Fahrzeugbremsssystem, insbesondere einem elektromechanischen Bremsssystem (EMB), verbunden ist.

[0029] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die jeweils zwei elektromechanischen Stellaggregate zum Steuern jeweils eines rechts und links an einem Fahrzeugkörper befindlichen lenkbaren Rades eines Radpaares einer lenkbarer Fahrzeugachse in Verbindung mit mindestens einer Lenkstange (Spurstange) als ein Achslenkmodul ausgebildet sind.

[0030] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Zentralsteuereinheit der Fahrzeuglenkung und eine Zentralsteuereinheit des elektronischen Fahrzeugbremsystems als einzelne Module in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sind.

[0031] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass für die Fahrzeuglenkung und das elektronische Fahrzeugbremsssystem eine gemeinsame Zentralsteuereinheit vorgesehen ist.

[0032] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die jeweils zwei elektromechanischen Stellaggregate zum Steuern jeweils eines rechts und links an einem Fahrzeugkörper befindlichen lenkbaren Rades eines Radpaares einer lenkbarer Fahrzeugachse in Verbindung mit mindestens einer Lenkstange als ein Achslenkmodul ausgebildet sind.

[0033] Die Aufgabe wird auch durch ein Achslenkmodul gelöst, mit zwei elektromechanischen Stellaggregaten, die jeweils einen elektrischen Motor aufweisen und die jeweils einem rechts und links an einem Fahrzeugkörper befindlichen lenkbaren Rad eines Radpaares einer lenkbarer Fahrzeugachse zugeordnet sind und miteinander über eine Verbindungseinrichtung verbindbar sind, so dass die beiden lenkbaren Räder über ein einziges Stellaggregat verschwenkbar sind.

[0034] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Fahrzeuglenkung zumindest eine als Schubstange ausgebildete Lenkstange aufweist, die in ihrer Verlängerung verbindbar ist mit Spurstangen für die beiden lenkbaren Räder und bei der koaxial Lenkstangenachse die zwei Elektromotoren vorgesehen sind, die jeweils einen Rotor aufweisen, der über eine Übertragungseinrichtung mit einem Rotations-Translationswandler verbunden ist, zur Einkopplung eines Motormoments auf die mindestens eine Lenkstange, um bei Betätigung zumindest eines Elektromotors über ein Verschieben der mindestens einen Lenkstange die Lenkfunktion des Achslenkmoduls sicherzustellen.

[0035] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Übertragungseinrichtung Mittel zur direkten Kopplung mit dem Rotations-

Translationswandler aufweisen.

[0036] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Übertragungseinrichtung Mittel zur direkten Kopplung mit dem Rotations-Translationswandler aufweisen.

[0037] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Rotations-Translationswandler ein Gewindetrieb, vorzugsweise ein Kugelgewindetrieb, ist.

[0038] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Rotations-Translationswandler antriebsmäßig verbunden ist mit mindestens einer zumindest in einem Bereich oder Teilbereich des Achslenkmoduls gewindestangenartig ausgebildeten Lenkstange (Gewindestange), die von mindestens einer Gewindemutter umgeben ist und mit dieser verbunden ist über dazwischen angeordnete Wälz- oder Rollkörper mit einer zum Gewinde der mindestens einen Gewindestange passenden Profilierung.

[0039] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Übertragungseinrichtungen Getriebe oder Kupplungen, vorzugsweise Planetengetriebe, sind.

[0040] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Elektromotor einen Stator mit einer Wicklung koaxial zur Lenkstange umfasst und einen um diesen drehgelagerten Rotor mit Permanentmagneten, vorzugsweise Seltenerd- oder Neodym-Magneten, insbesondere Kobalt-Samarium oder Neodym-Magneten, aufweist.

[0041] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Elektromotor ein elektronisch kommutierter Gleichstrommotor ist, der vorzugsweise ausgebildet ist als Transversalflussmotor.

[0042] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Rotor des Elektromotors über die Übertragungseinrichtung mit der Gewindemutter des Gewindetriebs spielfrei und formschlüssig rotatorisch gekoppelt ist.

[0043] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Rotor des Elektromotors zumindest in einem Teilbereich als ein Teil der Übertragungseinrichtung, vorzugsweise als ein Sonnenrad eines Planetenradgetriebes ausgebildet ist.

[0044] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass jedem Stellaggregat zumindest zwei Elektronikeinheiten zugeordnet sind und im Fall eines Fehlers eines der beiden Elektronikeinheiten die jeweils andere, noch funktionstüchtige Elektronikeinheit die Steuerung des Stellaggregats übernimmt.

[0045] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass im Fall eines Fehlers eines Stellaggregats bzw. eines Elektromotors, durch das noch funktionstüchtige Stellaggregat bzw. den Elektromotor die Schwenkbewegung der Räder durchgeführt wird, wobei die Baueinheit des fehlerhaften Stellaggregats rein mechanisch durch eine mechanische Kopplung über die Verbindungseinrichtung, insbesondere über die mindestens eine Gewindemutter und den mindestens einen Gewindetrieb mitschleppt werden.

[0046] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass zur Aufnahme der entstehenden Stellkräfte auf die mindestens eine Lenkstange mindestens ein Lager, vorzugsweise ein Axial-Schräglagerelement, vorgesehen ist, das einen Innenring aufweist, zur Aufnahme der Gewindemutter und zumindest eines Bauteils der Übertragungseinrichtung, vorzugsweise von Planetenträgern eines Planetenradgetriebes oder einer Kupplung, und das einen Außenring aufweist, zur Einleitung der entstehen-

den Stellkräfte in ein Gehäuse oder ein mit dem Gehäuse kraftschlüssig verbundenem Bauteil des Achslenkmoduls. **[0047]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass dem Außenring des Lagers mindestens ein Kraftsensor zugeordnet ist, zur Erfassung der wirkenden Stellkräfte und zur Rückkopplung dieser ermittelten Stellkräfte an die Handbetätigungseinrichtung, vorzugsweise Handlenkrad der Fahrzeuglenkung.

[0048] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass der Stator des Elektromotors an einem Gehäuse oder ein mit dem Gehäuse kraftschlüssig verbundenem Bauteil des Achslenkmoduls angeordnet ist und der Rotor der Elektromotors über ein Festlager und ein Loslager mit einem Gehäuse oder ein mit dem Gehäuse kraftschlüssig verbundenem Bauteil des Achslenkmoduls drehbar gelagert sind.

[0049] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass jedes Stellaggregate als Übertragungseinrichtungen ein Planetenradgetriebe aufweist, dessen Sonnenrad als Bauteile des Rotors ausgeführt ist und sich gegen ein Hohlrad abstützt, das Teil des Außenrings eines Lagers zur Aufnahme der Stellkräfte ist.

[0050] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass den zwei Stellaggregaten eine gemeinsame als Schubstange ausgebildete Lenkstange, vorzugsweise eine gemeinsame Gewindestange, und ein gemeinsamer Rotations-Translationswandler, insbesondere einer gemeinsamen Gewindemutter und gemeinsamen dazwischen angeordneten Wälz- oder Rollkörpern, zugeordnet ist, um bei Betätigung zumindest eines Stellaggregats über ein Verschieben der Lenkstange die Lenkfunktion des Achslenkmoduls sicherzustellen.

[0051] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass jedem der beiden Stellaggregate jeweils eine als Schubstange ausgebildete Lenkstange, vorzugsweise jeweils eine Gewindestange, und jeweils ein Rotations-Translationswandler, insbesondere jeweils eine Gewindemutter und jeweils dazwischen angeordnete Wälz- oder Rollkörpern, zugeordnet ist und dass beiden Stellaggregaten eine Verbindungseinrichtung zugeordnet ist, um die beiden Stellaggregate zu verbinden und bei Betätigung eines Stellaggregats über ein Verschieben der zwei verbundenen Lenkstangen die Lenkfunktion des Achslenkmoduls sicherzustellen.

[0052] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Verbindungseinrichtung eine elektromechanische Kupplung aufweist, die Kupplungsscheiben aufweist, die mit Innenringen von zwei Lagern, vorzugsweise Axial-Schräggugellagern, kraftschlüssig verbunden sind, die zur Aufnahme der auf die zwei Lenkstangen entstehenden Stellkräfte dienen und dass im unbestromten Zustand die beiden Kupplungsscheiben durch ein elastisches Mittel, vorzugsweise eine Druckfeder, gegeneinander gepresst werden und eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den zwei Rotations-Translationswandlern der Stellaggregate herstellen.

[0053] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass ein bestimmter maximaler Verstellbereich der zwei Lenkstangen gegeneinander vorgegeben wird mittels mechanischer Anschläge, die nur einen bestimmten Lenkstangen-Differenzweg der zwei Lenkstangen relativ zueinander zulassen.

[0054] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass zumindest ein Teilbereich der einen von den beiden Lenkstangen als eine Hohlwelle ausgebildet ist, die zwei Anschläge aufweist und dessen Hohlraum von einer mit der anderen Lenkstange verbundenen Koppelstange durchdrungen wird, die ein hohlwellen-

seitiges Endstück aufweist, das zwei innere Anschläge und zwei äußere Anschläge aufweist, die im Zusammenwirken mit zwei gegen die Anschläge abstützbaren Mitnehmerscheiben und einer an den Mitnehmerscheiben sich abstützenden Druckfeder nur einen bestimmten Lenkstangen-Differenzweg der zwei Lenkstangen relativ zueinander zulässt.

[0055] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass bei geschlossener elektromechanischer Kupplung die Koppelstange eine Ausgangsstellung definiert, bei der die Druckfeder eine maximale Länge aufweist und sich durch die beiden Mitnehmerscheiben auf die zwei äußeren Anschläge der Koppelstange und die beiden Anschläge der Hohlwelle abstützt und dass bei geöffneter elektromechanischer Kupplung eine erste und eine zweite Endstellung definiert wird, welche den maximalen Lenkstangen-Differenzweg festlegen, wobei bei der ersten Endstellung die Druckfeder eine minimale Länge aufweist und sich durch die beiden Mitnehmerscheiben einerseits auf einen ersten Anschlag der Hohlwelle und andererseits auf einen zweiten äußeren Anschlag der Koppelstange abstützt und wobei bei der zweiten Endstellung die Druckfeder eine minimale Länge aufweist und sich durch die beiden Mitnehmerscheiben einerseits auf einen zweiten Anschlag der Hohlwelle und andererseits auf einen ersten äußeren Anschlag der Koppelstange abstützt.

[0056] Die erfindungsgemäße Fahrzeuglenkung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen und von vier Abbildungen (**Fig. 1** bis **Fig. 3**) näher erläutert.

[0057] Es zeigen:

[0058] **Fig. 1** die erfindungsgemäße Fahrzeuglenkung in schematischer Darstellung,

[0059] **Fig. 2** eine schaltplanartige Darstellung der erfindungsgemäßen Fahrzeuglenkung mit redundanten Steuerungskomponenten,

[0060] **Fig. 2a** eine schaltplanartige Darstellung einer anderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeuglenkung mit redundanten Steuerungskomponenten und

[0061] **Fig. 3** eine schaltplanartige Darstellung der erfindungsgemäßen Fahrzeuglenkung in Verbindung mit einer elektromechanischen Bremse.

[0062] **Fig. 1** zeigt die erfindungsgemäße Fahrzeuglenkung in schematischer Darstellung. Der Fahrer betätigt das Lenkhandrad **1** oder ein ähnliches Bedienelement, z. B. einen Sidestick, mit dem er seinen Fahrtrichtungswunsch vorgeben kann. Der Fahrtrichtungswunsch wird in diesem Fall als Drehwinkel des Lenkhandrads **1** durch zwei Sensoren **2**, **3** redundant erfasst und auf elektronischem Wege einer Zentralsteuereinheit **4** mitgeteilt mittels der Datenübertragungsleitungen **5**, **6**. Über einen ersten, passiven Betätigungskraftsimulator **7** erhält der Fahrer eine haptische Rückwirkung bei der Lenkbetätigung. Über einer zweiten, elektromechanischen Betätigungskraftsimulator **8** kann diese Rückwirkung bei Bedarf verstärkt oder geschwächt werden. Der zweite, elektromechanische Betätigungskraftsimulator **8** wird über die Datenübertragungsleitung **9** von der Zentralsteuereinheit **4** gesteuert. Der Zentralsteuereinheit **4** werden vorzugsweise auch Signale einer Fahrzeuggeschwindigkeits-Erfassungseinrichtung **10** über eine Datenübertragungsleitung **11** übermittelt. Dann werden in der Zentralsteuereinheit **4** Algorithmen umgesetzt, die das Lenkmoment in Abhängigkeit der Geschwindigkeit verändern. Der Fahrerwunsch wird in der Zentralsteuereinheit **4** ausgewertet, in einen Lenkwinkel (Sollwert) für zwei Stellaggregate **12**, **13** umgerechnet und den Stellaggregaten **12**, **13** über eine Datenübertragungsleitung **14**, **15** zugeführt. Es sind pro lenkbarem Rad **16**, **17** einer lenkbaren Achse **18** jeweils ein Stellaggregat **12**, **13** vorgesehen, so dass im Grundsatz auch eine radindividuelle Steuerung des rechten Rades **16** und

des linken Rades **17** möglich ist. Der aktuelle Istwert der Radstellung der lenkbaren Räder **16, 17** wird mittels geeigneter Sensoren **19, 20** über je eine Datenübertragungsleitung **21, 22** der Zentralsteuereinheit **4** übermittelt.

[0063] Zwischen dem Lenkhandrad **1** und den lenkbaren Räder **16, 17** ist somit keine direkte mechanische Verbindung vorhanden. Durch diese erfindungsgemäße mechanische Entkopplung des Lenkhandrades **1** von der lenkbaren Achse **18** kann die Lenksäule entfallen, wodurch sich bessere Einbauverhältnisse im Vorbau und ein besseres Crashverhalten des Fahrzeugs ergeben. Durch die Entkopplung zwischen Fahrer und Rad **16, 17** wird der Fahrer nicht mehr durch Lenkradschwingungen, die vom Rad **16, 17** angeregt werden, irritiert. Darüber hinaus ermöglicht diese Lenkung die Integration einer Lenkassistent-Funktion, um eine Überreaktionen durch den Fahrer bei seiner Lenkbetätigung zu kompensieren. Durch die elektronische Regelung der Stellaggregate **16, 17** kann bei einer entsprechenden Auslegung und Verbindung mit einer Fahrstabilitätsregelung (ESP) besonders vorteilhaft eine Verbundregelung realisiert werden. Dann wird der Lenkwinkel auch zur Erhöhung der Fahrstabilität verändert. Ferner weist die erfindungsgemäße Lenkung den Vorteil auf, dass aufgrund der Entkopplung zwischen rechtem und linkem Rad **16, 17** der lenkbaren Achse **18** ein relativ kleiner Wendekreis des Fahrzeugs und zugleich eine relativ hohe Spurstabilität des Fahrzeugs realisiert werden kann. Auch die Montage der erfindungsgemäßen Lenkung ist gegenüber bekannten Lenkungen einfacher, da keine mechanische Verbindung zwischen lenkbarer Achse **18** und Lenkhandrad **1** hergestellt werden muss.

[0064] In der **Fig. 2** ist das Systemkonzept der erfindungsgemäßen Fahrzeuglenkung dargestellt, mit redundanter Sensorik und redundanter Auswerteschaltung, wobei für diese und die folgende Abbildung gilt, dass die zu **Fig. 1** gleichen Bauteile der Lenkung auch mit denselben Bezugszeichen versehen wurden. Der Fahrer betätigt das Lenkhandrad **1** zur Vorgabe seines Fahrtrichtungswunsches. Dieser vom Fahrer eingestellte Wunsch, wird sensorisch redundant erfasst durch zwei jeweils einen A/D-Wandler **30, 31** und einen Ausgang **32, 33** aufweisende redundante Sensoren **2, 3**. Die Signale der Sensoren **2, 3** werden der Zentralsteuereinheit **4** auf elektronischem Wege, vorzugsweise über ein redundantes Bussystem **34, 35** (zwei Datenleitungen) mitgeteilt. In der Zentralsteuereinheit **4**, die auch die Ansteuerung des zweiten, elektromechanischen Betätigungskraftsimulator **8** übernimmt, werden auch Algorithmen umgesetzt, die das Lenkmoment in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (Parameterlenkung) verändern. Darüber hinaus kann eine zu heftige Lenkreaktion des Fahrers stärker gedämpft werden (Lenkassistent). Auch eine Gierreaktion aufgrund von Seitenwind kann über einen zusätzlichen Lenkwinkel kompensiert werden, da vorzugsweise auch Informationen über den aktuellen Fahrzustand via Fahrzeugbussystem, insbesondere CAN **36**, eingelesen werden können.

[0065] Über den ersten, passiven Betätigungskraftsimulator **7** wird ein über den gesamten Lenkwinkelbereich ein leicht ansteigendes Rückstellmoment und bei schnellen Lenkbewegungen auch ein die Bewegung dämpfendes Moment erzeugt. Über einen zweiten, elektromechanischen Betätigungskraftsimulator **8** kann diese Rückwirkung bei Bedarf verstärkt oder geschwächt werden. Dazu erzeugt ein Motor **37** ein Moment über ein Getriebe **38** an eine mit dem Lenkhandrad **1** verbundene Achse **39**. Dadurch kann das System dem Fahrer beispielsweise eine Rückmeldung über die Situation, wie Aquaplaning, Bordstein, Niedrigreibwert, auf der Straße geben.

[0066] Der Fahrerwunsch wird in der Zentralsteuereinheit

4 ausgewertet und in Stellsignale für die Stellaggregate **12, 13** umgerechnet. Durch die erfindungsgemäß im Grundsatz unabhängigen Stellaggregate **12, 13** kann der Lenkwinkel zwischen dem rechten und dem linken Rad **16, 17** einer lenkbaren Achse **18**, vorzugsweise der Vorderachse **18**, zumindest in bestimmten Grenzen unabhängig voneinander eingestellt werden. Damit ist es möglich, ein Optimum zwischen Wendekreis, Reifenverschleiß und Geradeauslauf realisieren.

[0067] Die Zentralsteuereinheit **4** ist vorzugsweise nach der "fail-silent-Architektur" aufgebaut und weist zwei redundante Rechner **40, 41** auf. Die Betätigungseinheit hat vorteilhaft eine "fail-safe-Architektur". Das bedeutet, der zweite, elektromechanische Betätigungskraftsimulator **8** ist stromlos offen und durch einen Schalter **42** abschaltbar und erzeugt kein Moment bei einem Ausfall der elektrischen Energiequelle **43**. Im Fehlerfall erfährt der Fahrer eine haptische Rückwirkung durch den ersten Betätigungskraftsimulator **7**. Wenn kein Fehler vorliegt, werden die Kräfte ermittelt, die von dem Stellaggregat **12, 13** gestellt werden. Dies erfolgt vorzugsweise durch Messen der Ströme an den Motoren **44, 45** der Stellaggregate **12, 13** sowie des Verstellwegs an den Stellaggregaten **12, 13**. Die Zentralsteuereinheit generiert aus den ermittelten Kräften Ansteuersignale für den zweiten, elektromechanischen Betätigungskraftsimulator **8**. Dadurch erhält der Fahrer eine zu dem ersten, passiven Betätigungskraftsimulator **7** überlagerte haptische Rückmeldung über den auf der Fahrbahn wirkenden Kraftschluss.

[0068] Die Stellaggregate **12, 13** weisen jeweils einen Elektromotor **44, 45** auf, die vorzugsweise in einem Gehäuse eine redundante Elektronikeinheit **57, 58**, mit insbesondere Leistungsendstufen und Logikbausteinen, wobei für jede Elektronikeinheit **57, 58** jeweils zwei Rechner **46–49** vorgesehen sind. Die Elektronikeinheiten **57, 58** treiben die Aktuatoren an. Der Abtrieb erfolgt über eine Getriebeeinheit **50, 51**, die je nach Übersetzungsbedarf eine Rot/Rot-Getriebe und ein Rot/Trans-Getriebe umfassen kann (hier nicht dargestellt). Beide Aktuatoren, das bedeutet die Elektromotoren **44, 45** und Getriebeeinheiten **50, 51**, können in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet werden. In diesem Fall ist es vorgesehen, eine Trennwand zwischen den Gehäusenhälften anzuordnen, damit durch eine undichte Dichtung eindringendes Wasser nicht beide Aktuatoren zerstören kann. Zwischen den Aktuatoren ist eine Kupplung **52** vorgesehen, die abtriebsseitig die beiden Getriebe **44, 45** verbindet und einen bestimmten Verdrehwinkel zwischen den einzelnen Aktuatoren zulässt. Die Verdrehwinkel bewirkt einen unterschiedlichen Stellweg für die rechte und die linke Spurstangenseite **53, 54**. Der Verdrehwinkel wird dabei mechanisch begrenzt, da bei einem Ausfall ein Stellaggregat **12** oder **13** die Lenkaufgabe von beiden Stellaggregaten **12, 13** übernehmen kann.

[0069] Die Elektronik **46, 47, 48, 49** der Stellaggregate **12, 13** und die Elektronik **40, 41** der Zentralsteuereinheit **4** weisen jeweils Ein- und Ausgänge **55–58** für die zwei Datenübertragungsleitungen **34, 35** des Lenkungs-Bussystems auf. Die Zentralsteuereinheit **4** kann darüber hinaus auch einen Ein- und Ausgang **59** für die Datenübertragungsleitung des Fahrzeug-Bussystems, wie CAN, aufweisen. Die Datenübertragungsleitungen **34, 35** des Lenkungs-Bussystems sind auch in Verbindung mit einem den Energiequellen **43, 60** zugeordneten elektronischen Baueinheiten **61, 62**, die insbesondere Spannungswandler und Regler sowie einen Eingang und Ausgang **63, 64** aufweisen. Da die zwei unabhängigen Energiequellen, insbesondere die zwei Fahrzeugbatterien **65, 66**, jeweils ein Stellaggregat **12, 13** sowie jeweils eine Elektronikeinheit **40, 41** der Zentralsteuereinheit

4 über die Leitungen 67, 68 mit elektrischer Energie versorgen, wird bei einem Ausfall zumindest die Steuerung und Funktion eines Stellaggregats 12 oder 13 sichergestellt. So können durch die vorzugsweise stromlos offene Kupplung 52 auch bei dem Ausfall eines Stellaggregats 12 oder 13, das jeweils andere Stellaggregat 12 oder 13 die Funktion der Lenkung sicherstellen und das jeweils nicht funktionsfähige Stellaggregat 12 oder 13 wird durch einen stromlos offenen Schalter 69, 70 ausgeschaltet. Die zwei Fahrzeugbatterien 63, 64 werden über einen Fahrzeuggenerator 71 geladen.

[0070] In der Fig. 2a ist eine andere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Fahrzeuglenkung mit redundanten Steuerungskomponenten und einem zentralen Fahrzeugrechner 119 dargestellt. Im Unterschied zu der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform sind hier die Stellaggregate 12, 13 an je einen Bus 34, 35 gekoppelt. Vorteilhaft kann ein Kurzschluss am Ein- und Ausgang eines Stellaggregats nicht zu einem Verlust der Funktionsfähigkeit des gesamten Systems führen. Die Busse 34 und 35 sind hier auch räumlich getrennt. Es kann vorteilhaft ferner ein zentraler Fahrzeugrechner 119 vorgesehen sein, wodurch die Informationen der im Grundsatz unabhängigen Busse 34, 35 gegenseitig übertragen werden, damit jeder Teilnehmer der Bussysteme die Information erhält, welche Teilnehmer dem System noch zur Verfügung stehen. So können diese auf einen Ausfall anderer Teilnehmer entsprechend reagieren und beispielsweise deren Funktion ersetzen. Es ist hier ebenfalls ein mechanischer Betätigungskraftsimulator 7 vorgesehen, der als "Rückfallebene" bei einem Ausfall des elektromechanischen Betätigungskraftsimulators 7 dient ("fail-safe"), der durch die Zentralsteuereinheit 4 gesteuert wird, die ebenfalls redundant und "fail-silent" ausgeführt ist.

[0071] In Fig. 3 ist ein System dargestellt, bei dem das erfindungsgemäße Lenksystem und ein elektromechanisches Bremssystem (EMB) verbunden sind. Das System der Fahrzeuglenkung entspricht im wesentlichen dem in Fig. 2 gezeigten System, wobei hier eine Zentralsteuer- und -regelungseinheit (Zentraleinheit) 80 die Steuerung und Regelung der Fahrzeuglenkung und der Fahrzeugbremsen übernimmt.

[0072] Die Radbremsmodule 81–84 weisen als Aktuatoren 85–88 vorzugsweise Elektromotoren auf, die über Getriebe 89–92 eine bestimmte Bremskraft erzeugen und vorzugsweise über Bremsbeläge auf Bremsscheiben übertragen. Die Radbremsmodule 81–84 weisen auch jeweils zwei Rechner 93–100 auf, mit Ein- und Ausgängen 101–104 zu einem kombinierten Brems- und Lenkungs-Bussystem 105, 106. Der Fahrerbremswunsch wird über eine Bremsbetätigungseinrichtung 107, mit einem Bremspedal und einem Betätigungswegsimulator 109 übertragen und mit redundanten Wegsensoren und/oder Kraftsensoren 110, 111 ermittelt und über Ausgänge 112, 113 über das Bussystem 105, 106 zwei redundanten Zentralrechnern 114, 115 der Zentralsteuer- und -regelungseinheit 80 übermittelt. Ferner ist eine Feststellbremsenbetätigungseinrichtung 116 vorgesehen, mittels der ebenfalls ein Bremswunsch des Fahrer übertragen werden kann über die zwei redundanten Wegsensoren und/oder Kraftsensoren 110, 111.

[0073] In dieser Ausführungsform der Erfindung übernimmt die Zentraleinheit 80 neben der Ansteuerung der Stellaggregate 12, 13 und Radbremsmodule 81–84 und der Ansteuerung des Betätigungskraftsimulators 8 auch die Auswertung der Betätigungssensorik für Lenkung, Bremse und Feststellbremse. Entsprechend den Signalen werden Radbremsmodule 81–84 und/oder die Stellaggregate 12, 13 mit Stellbefehlen versorgt. Fällt die Zentraleinheit 80 aus, liegen die Informationen der Betätigungssensorik auch auf den beiden Bussystemen vor. Denn jedes Stellaggregate 12,

13 und Radbremsmodul 81–84 hat die für sie bestimmten Information und generiert daraus selbstständig Stellgrößen. Darüber hinaus ist auch bei einem Ausfall einer Energiequelle 43 oder 60 die Funktion der Lenkung und der Bremse sichergestellt. Denn jeweils eine Energiequelle versorgt jeweils ein Stellaggregat und zwei Radbremsmodule sowie jeweils eine redundante Einheit der Betätigungssensorik für die Lenkung und für die Bremse über zwei getrennte, unabhängige Stromleitungen 117, 118. Insgesamt bietet das System dadurch eine große Ausfallsicherheit sowie hinreichende "Notfunktionen" im Fehlerfall.

[0074] Darüber hinaus ist durch die Zentraleinheit 80 ein aktiver Eingriff in die fahrerwunschabhängige Steuerung bzw. Regelung von Bremse und Lenkung möglich. Dabei ist im Sinne der Erfindung auch ein zusätzlicher Eingriff in das Motormanagement vorgesehen, wie es beispielsweise schon bei Fahrdynamikregelungen (ESP) oder Antriebsschlupfregelungen (ASR) durchführbar ist. Insgesamt kann das erfindungsgemäße System den Fahrer unterstützen und das Fahrzeug im Hinblick auf größtmögliche Sicherheit und Fahrkomfort lenken, radindividuell abbremesen oder beschleunigen. Daher ist das System auch bevorzugt für Fahrerassistenzsysteme, wie automatische Geschwindigkeitsregelung (Tempomat, CC) oder Abstands- und Folgeregelungen (ACC, AICC) geeignet.

[0075] Das erfindungsgemäße Achslenkmodul für die Fahrzeuglenkung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen und von Abbildungen (Fig. 4 bis Fig. 14) näher erläutert.

[0076] Es zeigen:

[0077] Fig. 4 die erfindungsgemäße Fahrzeuglenkung mit einem Achslenkmodule mit zwei Stellaggregaten,

[0078] Fig. 5 einen Schnitt durch ein erfindungsgemäßes Achslenkmodul mit einer durchgehenden Lenkstange, mit einem Kugelgewindetrieb und mit Planetenradgetrieben,

[0079] Fig. 6 einen Ausschnitt aus dem in Fig. 5 gezeigten Schnitt durch das erfindungsgemäße Achslenkmodul in vergrößerter Darstellung,

[0080] Fig. 7 einen Schnitt durch ein erfindungsgemäßes Achslenkmodul mit einer durchgehenden Lenkstange, mit einem Kugelgewindetrieb und mit Kupplungen anstatt der Planetenradgetriebe,

[0081] Fig. 8 einen Schnitt durch ein erfindungsgemäßes Achslenkmodul mit einer geteilten Lenkstange, mit Kugelgewindetrieben und mit Planetenradgetrieben,

[0082] Fig. 9 einen Ausschnitt aus dem in Fig. 8 gezeigten Schnitt durch das erfindungsgemäße Achslenkmodul in vergrößerter Darstellung,

[0083] Fig. 10 die erfindungsgemäße, Fahrzeuglenkung mit einem Achslenkmodule mit zwei Stellaggregaten für eine radindividuelle Radeinstellung,

[0084] Fig. 11 die in Fig. 9 und Fig. 10 gezeigte Kupplung zwischen dem rechten und linken Stellaggregat in vergrößerter Darstellung,

[0085] Fig. 12 das in Fig. 9 und Fig. 10 gezeigte Achslenkmodul in einer ersten Stellung,

[0086] Fig. 12a das in Fig. 12 gezeigte Achslenkmodul in einer vergrößerten Darstellung,

[0087] Fig. 13 das in Fig. 9 und Fig. 10 gezeigte Achslenkmodul in einer zweiten Stellung,

[0088] Fig. 13a das in Fig. 13 gezeigte Achslenkmodul in einer vergrößerten Darstellung,

[0089] Fig. 14 das in Fig. 9 und Fig. 10 gezeigte Achslenkmodul in einer dritten Stellung,

[0090] Fig. 14a das in Fig. 14 gezeigte Achslenkmodul in einer vergrößerten Darstellung.

[0091] In der Fig. 4 ist die erfindungsgemäße Fahrzeuglenkung mit einem Achslenkmodul 201 dargestellt, worin

zwei Stellaggregate **12, 13** angeordnet sind, die durch die Zentralsteuereinheit **4** angesteuert werden. Durch eine Verstellung einer Lenkstange **203** um einen bestimmten Verstellweg **204** wird ein bestimmter Lenkwinkel **205** eingestellt.

[0092] Ein Achslenkmodul **201** mit zwei Stellaggregaten **12, 13** und einer durchgehenden Lenkstange sind in **Fig. 5** und der **Fig. 6** in einem Querschnitt dargestellt.

[0093] Die Stellaggregate **12, 13** weisen zwei konzentrisch um die Lenkstange **203** angeordnete Elektromotoren **44, 45** auf. Durch die zwei Elektromotoren **44, 45** wird das redundante Antriebskonzept realisiert. Die beiden Elektromotoren **44, 45** treiben über Übertragungseinheiten, hier vorzugsweise zwei Planetenradgetriebe **50, 51** über eine zentrisch sitzende Mutter **206**, einen Kugelgewindetrieb **207** und die zumindest im Bereich der Getriebe bzw. Elektromotormodule als Kugelgewindestange ausgebildete Lenkstange **203** an. Die Lenkstange **203** ist hier durchgehend ausgeführt, wodurch die Räder **16, 17** kinematisch direkt miteinander gekoppelt sind. Es können auch andere Getriebebauformen für die Übertragungseinheiten verwendet werden, die geeignet sind, das Antriebsmoment in eine Stellkraft und eine Lenkbewegung der über die zwei Spurstangen **53, 54** gekoppelten Räder **16, 17** umzusetzen. Ebenso ist es im Sinne der Erfindung möglich, die Getriebe **50, 51** durch zwei Kupplungen als Übertragungseinheiten zu ersetzen.

[0094] Der Lenkstangenweg **204** wird redundant durch zwei redundante Wegsensoren **208, 209** erfasst. Nach einer Plausibilitätsabfrage wird nach Maßgabe des erfassten Wegs der Lenkstange **203** (Istwert) durch die Zentralsteuereinheit **4** ein Sollwert für den einzustellenden Lenkwinkel (Sollwert) ermittelt. Die Zentralsteuereinheit **4** ist vorzugsweise im Bereich des Handlenkrads **1** angeordnet (siehe **Fig. 4**). Alternativ kann die Zentralsteuereinheit **4** auch vorteilhaft in das Achslenkmodul **1** integriert werden. Ist der geforderte Sollwert, das bedeutet der einzustellende Lenkwinkel **205** der Räder **16, 17** erreicht, stellt sich je nach den einwirkenden Spurstangenkräften ein radstabiles Haltemoment an den Elektromotoren **44, 45** ein.

[0095] Bei der oben beschriebenen Funktionsweise sind zwei den Elektromotoren **44, 45** zugeordnete Rotoren **210, 211** über die beiden Planetenradgetriebe **50, 51** mit der Gewindemutter **206** des Kugelgewindetriebes **207** spielfrei und formschlüssig rotatorisch miteinander gekoppelt. Das bedeutet, in der oben beschriebenen Funktionsweise sind auch beide Elektromotoren **44, 45** miteinander verbunden und können parallel die Lenkstange **203** antreiben (Normallenkfunktion).

[0096] Im Fehlerfall, wenn ein Elektromotor **44** oder **45** ausfällt, übernimmt der noch funktionstüchtige Elektromotor den Antrieb. Dazu sind auch die Elektronikeinheiten **46–49** der Stellaggregate **12, 13**, welche die Elektromotoren **44, 45** über Elektromotoransteuerungen **272, 273** steuern, redundant ausgeführt. Durch den einen noch funktionstüchtigen Elektromotor kann so der Kugelgewindetrieb **207** über die Kugeln **274** die Stellbewegung der Lenkstange **203** durchführen. Die Baugruppen des defekten Stellaggregats werden dann rein mechanisch durch die mechanische Kopplung über die Gewindemutter **206** und den Kugelgewindetrieb **207** mitgeschleppt.

[0097] Daraus ergibt sich als ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Achslenkmoduls **201** und der erfindungsgemäßen Fahrzeuglenkung, dass bei Ausfall eines Elektromotors, z. B. Elektromotor **44**, beispielsweise durch den Ausfall der elektrischen Energieversorgung oder dem Ausfall einer elektronischen Baugruppe der Zentralsteuereinheit **4** oder des Stellaggregats selbst, bei einem Lenkungswunsch des Fahrers das noch funktionstüchtige Stell-

aggregat mit dem anderen, funktionstüchtigen Elektromotor, in diesem Beispiel der Elektromotor **45**, in Verbindung mit der redundant ausgeführten Elektromotorsteuerung die gesamte Lenkfunktion des Achslenkmoduls **201** übernimmt.

Ein weiterer Vorteil ist dadurch gegeben, dass durch die angetriebene Mutter **206** des Kugelgewindetrieb **207** die beiden Räder über die Lenkstange **203** spielfrei direkt miteinander verbunden sind. Der Kraftfluss geht so direkt über die Lenkstange **203** und über die Spurstangen **53, 54** zu den Rädern **16, 17**. Somit sind auch die beiden Räder **16, 17** spielfrei miteinander verbunden.

[0098] Als Aufnahme der Gewindemutter **206** des Kugelgewindetriebes **207** und als Aufnahme von Planetenträgern **212, 213** der Planetenradgetriebe **44, 45** oder im Fall der Ausführungsform mit einer Kupplung (siehe **Fig. 7**) als Aufnahme für die Kupplung ist ein Innenring **214** eines Axial-Schräggugellagers **215** vorgesehen. Damit bildet das Axial-Schräggugellager als Aufnahme für die Gewindemutter **206** und die Planetenträger **212, 213** oder Kupplung (siehe **Fig. 7**) eine funktionelle Baugruppe mit dem Kugelgewindetrieb **207** und den Getrieben **44, 45**. Das Axial-Schräggugellager **215** nimmt dabei die entstehenden Stellkraft der Lenkstange **203** auf und leitet sie über einen Außenring **218** des Axial-Schräggugellagers **215** in das Gehäuse **219** des Achslenkmoduls **201** ein.

[0099] In dem Außenring **218** des Axial-Schräggugellagers **215** kann zumindest ein Kraftsensor **220** zur Erfassung der wirkenden Stellkräfte angeordnet sein. Nach Maßgabe der hier gemessenen Kräfte kann dem Fahrer über den zweiten elektromechanischen Betätigungskraftsimulator **8** eine bestimmte Handkraft an dem Lenkhandrad **1** eingestellt werden (Rückkopplung der Kräfte). Gleichzeitig kann der Kraftsensor **220** für eine Plausibilitätsprüfung und Systemprüfung genutzt werden.

[0100] Die Rotoren **210, 211** sind vorzugsweise über Festlager **221, 222** und Loslager **223, 224** im Gehäuse **219** gelagert. Dadurch kann eine querkraftfreie Lagerung der Rotoren **210, 211** erzielt werden. Auch den Elektromotoren **44, 45** zugeordnete Statoren **225, 226** werden im Gehäuse **219** gehalten. Es kann ferner dadurch ein geringer Luftspalt zwischen den Rotoren **210, 211** und den Statoren **225, 226** realisiert werden, was einen positiven Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad hat. Gleichzeitig sind Sonnenräder **227, 228** der Planetenradgetriebe **50, 51** als Bauteile der Rotoren **210, 211** ausgeführt. Die Sonnenräder **227, 228** treiben über Planetenräder **229, 230** die Planetenträger **212, 213** an. Die Sonnenräder **227, 228** stützen sich gegen Hohlräder **231, 232** ab, die im Außenring **218** des Axial-Schräggugellagers **215** integriert sind. Das Antriebsmoment der Kugelgewindetriebe **207** und im Anschluss der Lenkstange **203** wird über zwei in das Gehäuse **219** integrierte Verdrehsicherungen **233, 234** vorgenommen, wobei die Verdrehsicherungen **233, 234** auch eine Linearlagerfunktion der Lenkstange **203** übernehmen. Vorzugsweise kann auch einseitig eine Verdrehsicherung **233** oder **234** entfallen.

[0101] In der **Fig. 7** ist eine Ausführungsform des in **Fig. 5** und **Fig. 6** gezeigten Achslenkmoduls **201** dargestellt, bei der die Getriebe **50, 51** durch Kupplungen **235, 236** als Übertragungselemente ersetzt worden sind. Das bedeutet, die Spurstangen werden hier direkt über die zwei Kupplungen **235, 236** angetrieben (Direktantrieb). Dieser "Direktantrieb" ist insbesondere für relativ leichte, kleinere Fahrzeuge mit geringen Vorderachslasten vorgesehen, bei denen nur relativ geringe Stellkräfte zum Lenken der Räder nötig sind. Vorteilhaft kann so der konstruktive Aufwand verringert werden, was grundsätzlich zu einer größeren Zuverlässigkeit und zu geringeren Gestehungskosten führt.

[0102] Bei dem oben gezeigten Achslenkmodul **201** ist

die Lenkstange **203** nicht geteilt, wodurch die Räder **16**, **17** durch die Spurstangen **112**, **113** direkt gekoppelt sind. Im Sinne der Erfindung ist es aber ebenso vorgesehen, ein elektromechanisches Achslenkmodul **201** mit vorzugsweise elektromechanisch zumindest teilentkoppelten Spurstangen **112**, **113** vorzusehen, um eine einseitige Lenkwinkelverstellung, beispielsweise für einen fahrdynamischen Regelungseingriff, zu ermöglichen.

[0103] Ein Beispiel für eine bevorzugte Ausführungsform eines Achslenkmoduls für teilentkoppelte Spurstangen **112**, **113** ist in der **Fig. 8** und **Fig. 9** gezeigt.

[0104] Das Achslenkmodul **201** weist zwei konzentrisch um die beiden Lenkstangen **237**, **238** angeordneten Elektromotoren **44**, **45** auf. Die Lenkstangen **237**, **238** sind als Kugelgewindestangen ausgebildet. Durch die beiden Elektromotoren **44**, **45** wird ein redundantes Antriebskonzept realisiert. Die beiden Elektromotoren **44**, **45** treiben über zwei Planetenradgetriebe **50**, **51** zwei Muttern **239**, **240** von zwei Kugelgewindetrieben **241**, **242** an und setzen das Antriebsmoment in eine Stellkraft und eine Lenkbewegung der über die beiden Spurstangen **53**, **54** gekoppelten Räder **16**, **17** um.

[0105] Es ist jeweils ein redundanter Wegsensor **243**, **244** an jeweils einem Stellaggregat **12**, **13** angeordnet, zum Erfassen der Lenkstangenwege der beiden Lenkstangen **237**, **238**. Nach Maßgabe der ermittelten Lenkstangenwege wird durch die Zentralsteuereinheit **4** ein Sollwert für die Regelung des Lenkwinkels **205** und des zweiten Betätigungskraftsimulators **8** gebildet. Die Zentralsteuereinheit **4** kann im Bereich des Lenkhandrades **1** oder aber innerhalb des Achslenkmoduls **201** integriert sein. Ist der geforderte Sollwert, das bedeutet ist der Lenkwinkel **205** der Räder **16**, **17** erreicht, so stellt sich je nach den einwirkenden Spurstangenkräften ein radstabiles Haltemoment an den Elektromotoren **44**, **45** ein.

[0106] Die Lenkstangen **237**, **238** weisen vorzugsweise einen in der Mitte des Achslenkmoduls **201** liegenden Trennbereich **245** auf. Die Lenkstangen **237**, **238** sind durch einen Koppelstab **246** gekoppelt, der fest mit einer der beiden Lenkstangen (hier die Lenkstange **237**) und teilelastisch über eine vorgespannte und wegbegrenzte Druckfeder **247** innerhalb der anderen Lenkstange (hier die Lenkstange **238**) angeordnet ist. Die andere Lenkstange **238** ist daher zumindest im Abschnitt der Bewegungsmöglichkeit des Koppelstabs **246** als ein Hohlzylinder ausgeführt. Die beiden Lenkstangen **237**, **238** wirken unterhalb der eingestellten Feder Vorspannung, in Bewegungsrichtung des Lenkstangenwegs **204** (translatorisch) wie eine einzige, starre durchgehende Lenkstange.

[0107] Die beiden Gewindemuttern **239**, **240** der beiden Kugelgewindetriebre **241**, **242** sind über zwei Innenringe **248**, **249** von zwei Axial-Schräggugellagern **250**, **251** und zwei Kupplungsscheiben **252**, **253** einer stromlos geschlossenen elektromechanischen Kupplung **254** spielfrei und formschlüssig rotatorisch miteinander gekoppelt. In der Normallenkfunktion sind beide Elektromotoren **44**, **45** über die Kupplung **254** miteinander verbunden und können somit parallel die Lenkstangen **237**, **238** antreiben. Im Fehlerfall, das bedeutet bei Ausfall eines Elektromotors **44**, **45**, übernimmt der intakte Elektromotor durch die redundant ausgeführte Elektromotoransteuerung die gesamte Stellbewegung der beiden Lenkstangen **237**, **238** (redundantes Antriebskonzept). Das defekte Stellaggregat **12**, **13** wird dann rein mechanisch mitgeschleppt.

[0108] Vorzugsweise sind die Innenringe **248**, **249** der Axial-Schräggugellager **250**, **251** als Aufnahme der Gewindemuttern **239**, **240**, als Aufnahme der beiden Planetenträger **212**, **216** und als Aufnahme der beiden Kupplungsschei-

ben **252**, **253** ausgebildet und bilden zusammen eine funktionelle Baugruppe. Die Axial-Schräggugellager **250**, **251** nehmen dabei die entstehenden Stellkräfte der Lenkstangen **237**, **238** auf und leiten sie über zwei Außenringe **255**, **256** der beiden Axial-Schräggugellager **250**, **251** in das Gehäuse **219** ein. In die Außenringe **255**, **256** können zwei Kraftsensoren **357**, **358** zur Erfassung der Stellkräfte und zur Rückkopplung der wirkenden Stellkräfte an den zweite Betätigungskraftsimulator **8** integriert werden. Gleichzeitig können die Kraftsensoren **357**, **358** für Plausibilitätsprüfungen und Systemprüfungen genutzt werden.

[0109] Bei den Planetengetrieben **50**, **51** sind Rotoren **210**, **211** über Festlager **221**, **222** und die Loslager **223**, **224** im dem Gehäuse **219** querkraftfrei gelagert, welches gleichzeitig die Aufnahme der Statoren **225**, **226** über nimmt. Ein geringer Luftspalt zwischen Rotor und Stator wird so realisiert, was einen positiven Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad hat. Gleichzeitig sind Sonnenräder **227**, **228** der Planetenradgetriebe **50**, **51** Bestandteil der Rotoren **210**, **211** und treiben Planetenträger **212**, **213** durch Planetenräder **229**, **230** an, die sich an in die Außenringe **139**, **140** der Axial-Schräggugellager **250**, **251** integrierte Hohlräder **231**, **232** abstützen. Die Abstützung des entstehenden Antriebsmomentes an den spindelförmigen Bereichen der Lenkstangen **237**, **238** wird über die beiden in das Gehäuse **219** integrierten Verdrehsicherungen **233**, **234** vorgenommen, die ebenso auch einen Linearlagerfunktion der Lenkstangen **237**, **238** erfüllen.

[0110] Für beispielsweise einen dynamischen Lenkungseingriff können aufgrund der im Grundsatz unabhängig betätigbaren Lenkstangen **237**, **238** eine einseitige, vom jeweils anderen Rad unabhängige Lenkwinkelverstellung durchgeführt werden, was in der **Fig. 10** dargestellt ist. Hier ist das linke Rad **16** um einen Differenzwinkel **259** gegenüber dem rechten Rad **17** verschwenkt.

[0111] Es ist ebenso denkbar, anstatt der in **Fig. 11** gezeigten rotierenden Mutter **239**, **240** des Kugelgewindetriebes rotierende Kugelgewindetrieb-Stangen vorzusehen (nicht dargestellt), wobei die Kraftübertragung dann über beispielsweise ein Planetengetriebe **150**, **151** und dazwischen angeordnete Gelenkwellen auf die mit den Spurstangen **53**, **54** verbundene Kugelgewindetrieb-Stangen erfolgt. Dann kann auch das Gehäuse zweigeteilt sein, so dass jedes Stellaggregat **12**, **13** einem Gehäuseteil zugeordnet ist. Vorzugsweise sind die beiden Stellaggregate durch eine Kupplung **52** verbunden, die eine zumindest in einem bestimmten Rahmen radindividuelle Einstellung der Räder **16**, **17** ermöglicht.

[0112] Die elektromechanische Kupplung **254** ist in **Fig. 11** näher dargestellt. Die Kupplung **254** ist vorgesehen, um die beiden Lenkstangen **237**, **238** bezogen auf ihre lineare Bewegungsmöglichkeit voneinander zu entkoppeln und so eine einseitige Lenkwinkelverstellung eines Rades zu realisieren. Diese erfolgt über das Öffnen, das bedeutet Bestromen der elektromechanischen Kupplung **254**. Ist die Kupplung **254** geöffnet, so werden die beiden Muttern **239**, **240** rotatorisch voneinander getrennt und jeder Elektromotor **44**, **45** kann eine geforderte Lenkwinkeldifferenz **359** im zulässig mechanisch begrenzten Stellbereich **260** einstellen, wobei die Einstellung nach Maßgabe der durch die Kraft- und redundanten Wegsensoren ermittelten Werte erfolgt. Die Kupplung **254** weist neben den Kupplungsscheiben **252**, **253**, einen Polkörper **261**, eine Druckfeder **262**, einen Kupplungssensor **263** und eine Spule **264** auf. Die beiden Kupplungsscheiben **252**, **253** können zu einer sicheren und hohen Momentenübertragung vorzugsweise an ihrer Kupplungsfläche **265** formschlüssig miteinander gekoppelt werden. Des weiteren kann die Kupplungsfläche **265** durch eine be-

stimmte Formgebung so ausgebildet werden, dass sie nur in einer Position verriegelt, vorzugsweise in einer Normalstellung der beiden Lenkstangen **237**, **238**. Wird die Spule **264** des mit dem Gehäuse **219** fest verbundenen Pols **261** bestrahlt, so wird eine Kupplungsscheibe **253** gegen die Druckfeder **262** angezogen und gibt die Kupplung **254** frei. Der Entkuppel- und Einkuppelvorgang wird durch den Kupplungssensor **263** sensiert und überwacht. Die Kupplungsscheibe **252** ist als ein Anker ausgebildet und kann sich auf dem Innenring **248** des einen Axial-Schräggugellagers **250** axial verschieben. Die Momentenübertragung erfolgt durch Formgebung zwischen Kupplungsscheibe **252** und Innenring **248** des Axial-Schräggugellagers **250**. Ist eine Lenkungsregelung einer Lenkwinkeldifferenz beendet, so werden durch beide Elektromotoren **44**, **45** die Lenkstangen **237**, **238** in ihre Normal- oder Ausgangsstellung zurückbewegt, der Spulenstrom fällt ab und die beiden Kupplungsscheiben **252**, **253** werden durch die Druckfeder **262** in ihrer Normal- oder Ausgangsstellung verriegelt. Dieser Einkuppelvorgang wird durch den Kupplungssensor **263** sensiert. Die weitere Regelung des Lenkwinkels **205** erfolgt nun dann über die Normallenkfunktion.

[0113] Die Funktionsweise des in der **Fig. 8** und **9** gezeigten Achslenkmoduls ist in der **Fig. 12** bis **Fig. 14** näher gezeigt. Fällt ein Motormodul aus, so werden durch das Sicherheitskonzept die beiden Lenkstangen **237**, **238** der Räder **16**, **17** mechanisch durch die unterstützend wirkende Federkraft **272** in ihre Ausgangslage zurückgestellt und die beiden Gewindemuttern **239**, **240** werden durch die vorzugsweise formschlüssig ausgebildete Kupplung **254** in ihrer Normalstellung verriegelt (siehe **Fig. 12** und **Fig. 12a**). Die Druckfeder **247** weist eine maximale Länge auf und stützt sich durch die beiden Mitnehmerscheiben **266**, **267** auf die zwei äußeren Anschläge der Koppelstange **270**, **271** und die beiden Anschläge der Hohlwelle **275**, **276** ab. Das intakte Stellaggregat übernimmt nun die Normallenkfunktion mit dem funktionsfähigen Elektromotor.

[0114] Der unabhängige Verstellbereich der Lenkstangen wird im Grundsatz durch die Ausbildung und Konstruktion der zwei Lenkstangen **237**, **238** verbindenden Bauteile, insbesondere den Koppelstab **246** und die Druckfeder **247** und deren benachbarte Bauteile, vorgegeben (siehe **Fig. 13** bis **Fig. 14a**). Der zulässig mechanische Verstellbereich **260** der beiden Lenkstangen **237**, **238** während der Lenkwinkeldifferenzregelung wird durch die integrierte, gefesselte und vorgespannte Druckfeder **247** in Verbindung mit zwei Mitnehmerscheiben und über innere **268**, **269** und äußere **170**, **271** Anschläge des Koppelstabes und Anschläge **275**, **276** der Lenkstangen-Hohlwelle **238** realisiert. Über diese Begrenzung kann die Lenkwinkeldifferenz rein mechanisch nicht verstellt werden, das bedeutet die beiden Räder **16**, **17** sind oberhalb dieses Bereiches starr miteinander gekoppelt (Sicherheitskonzept). Bei der Lenkwinkeldifferenzregelung werden die beiden Lenkstangen **237**, **238** gegeneinander verschoben, wobei die Druckfeder **247** durch den Koppelstab **246** bzw. dessen Endstück **277** und zwei Mitnehmerscheiben **266**, **267** bis auf mechanische Anschläge **270**, **271** weiter vorgespannt werden kann. Diese Funktion ist durch die äußere Fesselung der Druckfeder **247** in der Lenkstange **238** und die innere Fesselung der Druckfeder **247** durch den Koppelstab **246** in beiden Richtungen gewährleistet. Die mechanische Begrenzung der Lenkwinkeldifferenz ist gegen durch eine erste (siehe **Fig. 13**, **13a**) und eine zweite (siehe **Fig. 14**, **14a**) Endstellung.

[0115] Wird die in **Fig. 12**, **12a** gezeigte Lenkstange **238** nach rechts bewegt (in Pfeilrichtung **278**) und die Lenkstange **246** nicht bewegt, dann wird durch den ersten Anschlag **275** der Hohlwelle **238** die linke Mitnehmerscheibe

266 nach rechts verschoben und die Feder, die auf ihrer rechten Seite über die rechte Mitnehmerscheibe **267** durch den zweiten äußeren Anschlag **271** des ortsfesten Endstücks **277** der Koppelstange **246** ortsfest gehalten wird, wird entgegen der Federkraft gespannt, bis die in **Fig. 13**, **13a** gezeigte erste Endstellung erreicht ist. Bei der ersten Endstellung (**Fig. 13**, **13a**) weist die Druckfeder **247** eine minimale Länge auf und stützt sich durch die beiden Mitnehmerscheiben **266**, **267** einerseits auf den ersten Anschlag **275** der Hohlwelle **238** und andererseits auf den zweiten äußeren Anschlag **271** des Endstücks **277** der Koppelstange **246** ab.

[0116] Wird die in **Fig. 12**, **12a** gezeigte Lenkstange **238** nach links bewegt (in Pfeilrichtung **279**) und die Lenkstange **246** dabei nicht bewegt, dann wird durch den zweiten Anschlag **276** der Hohlwelle **238** die rechte Mitnehmerscheibe **267** nach links verschoben und die Feder **247**, die auf ihrer linken Seite über die linke Mitnehmerscheibe **266** durch den ersten äußeren Anschlag **270** des ortsfesten Endstücks **277** der Koppelstange **246** ortsfest gehalten wird, wird entgegen der Federkraft gespannt, bis die in **Fig. 14**, **14a** gezeigte zweite Endstellung erreicht ist. Bei der zweiten Endstellung (**Fig. 14**, **14a**) weist die Druckfeder **247** ebenfalls die minimale Länge auf und stützt sich durch die beiden Mitnehmerscheiben **266**, **267** einerseits auf einen zweiten Anschlag der Hohlwelle **276** und andererseits auf einen ersten äußeren Anschlag **270** des Endstücks **277** der Koppelstange **246** ab. Das bedeutet, für die Lenkwinkeldifferenzregelung muss durch eine vorhandene und anwachsende Federkraft durch die Druckfeder **247** ein Zusatzmotormoment der Elektromotoren **44**, **45** aufgebracht werden.

[0117] Diese Ausführungsform weist insbesondere den Vorteil auf, dass die Gewindemuttern **239**, **240** der Kugelgewindetriebe **241**, **242** direkt angetrieben werden können und somit die beiden Räder **16**, **17** über den in den Lenkstangen **237**, **238** integrierten Koppelstab **246** und die integrierte vorgespannte Druckfeder **247** spielfrei miteinander verbunden werden. Das bedeutet, unterhalb der Federvorspannung sind die beiden Lenkstangen **237**, **238** als funktional als einteilig anzusehen. Ferner weist dieses System ein sicheres Kupplungskonzept für die Lenkwinkeldifferenzregelung auf durch eine formschlüssig in einer Position verriegelten Kupplung **254**, einen mechanisch begrenzten Verstellbereich **260** und einer vorgespannten, mit dem Koppelstab **246** wirkenden Druckfeder **247**.

[0118] In der **Fig. 15** ist ein Achslenkmodul dargestellt, das zwei Lenkstangen **237**, **238** aufweist, die über zwei Stellaggregate **12**, **13** einstellbar sind. Gegenüber zuvor dargestellten Ausführungsformen, bei denen die beiden Stellaggregate **12**, **13** in einem gemeinsamen Gehäuse **219** angeordnet waren, sind hier die beiden Stellaggregate in jeweils einem Gehäuse **280**, **281** angeordnet und über eine Kupplung **282** miteinander verbunden.

Bezugszeichenliste

- 1 Lenkhandrad
- 2, 3 redundante Sensoren am Lenkhandrad
- 4 Zentralsteuereinheit
- 5, 6 Datenübertragungsleitungen von den Sensoren am Lenkhandrad
- 7 passiver Betätigungskraftsimulator
- 8 elektromechanischer Betätigungskraftsimulator
- 9 Datenübertragungsleitung zum elektromechanischen Betätigungskraftsimulator
- 10 Fahrzeuggeschwindigkeits-Erfassungseinrichtung
- 11 Datenübertragungsleitung zur Zentralsteuereinheit
- 12, 13 Stellaggregate
- 14, 15 Datenübertragungsleitungen zu den Stellaggregaten

16, 17 lenkbare Räder
18 lenkbare Achse
19, 20 redundante Wegsensoren der Stellaggregate
21, 22 Datenübertragungsleitungen von den Stellaggregaten
30, 31 A/D-Wandler der Sensoren am Lenkhandrad
32, 33 Ausgang A/D-Wandler der Sensoren am Lenkhandrad
34, 35 Bussystem des Lenkungssystems
36 Fahrzeugbussystem (CAN)
37 Motor elektromechanischer Betätigungskraftsimulator
38 Getriebe elektromechanischer Betätigungskraftsimulator
39 Achse Lenkhandrad
40, 41 Rechner Zentralsteuereinheit
42 Schalter elektromechanischer Betätigungskraftsimulator
43 erste elektrische Energiequelle
44, 45 Motoren der Stellaggregate
46–49 Rechner der Stellaggregate
50, 51 Getriebeeinheiten der Stellaggregate
52 Kupplung der Stellaggregate
53, 54 Spurstangen
55, 56 Ein- und Ausgänge der Stellaggregate
57, 58 Elektronische Einheiten der Stellaggregate
59 Ein- und Ausgang zum Fahrzeugbussystem (CAN)
60 zweite elektrische Energiequelle
61, 62 elektronische Baueinheiten der elektrischen Energiequellen
63, 64 Eingänge und Ausgänge der elektrischen Energiequellen
65, 66 Fahrzeugbatterien
67, 68 Leitungen zur Stromversorgung der Komponenten
69, 70 Schalter der Stellaggregate
71 Fahrzeuggenerator
80 Zentralsteuer- und -regelungseinheit (Zentraleinheit)
81–84 Radbremsmodule
85–88 Aktuatoren der Radbremsmodule
89–92 Getriebe der Radbremsmodule
93–100 Rechner der Radbremsmodule
101–104 Ein- und Ausgänge der Radbremsmodule
105, 106 Brems- und Lenkungs-Bussysteme
107 Bremsbetätigungseinrichtung
108 Bremspedal
109 Betätigungswegsimulator der Bremsbetätigungseinrichtung
110, 111 Sensoren der Bremsbetätigungseinrichtung
112, 113 Ausgänge der Sensoren der Bremsbetätigungseinrichtung
114, 115 Zentralrechner der Zentralsteuer- und -regelungseinheit (Zentraleinheit)
116 Feststellbremsenbetätigungseinrichtung
117, 118 Leitungen zur Stromversorgung der Komponenten
119 zentraler Fahrzeugrechner
150, 151 Rot/Rot-Getriebe der Stellaggregate
201 Achslenkmodul
202 Betätigungskraftsimulator (Lenksimulator)
203 Lenkstange
204 Lenkstangenweg
205 Lenkwinkel
206 Mutter Kugelgewindetrieb
207 Kugelgewindetrieb
208, 209 Wegsensoren Lenkstange
210, 211 Rotoren der Motoren
212, 213 Planetenträger
214 Innenring
215 Axial-Schräggugellager
218 Außenring
219 Gehäuse
220 Kraftsensor
221, 222 Festlager

223, 224 Loslager
225, 226 Statoren
227, 228 Sonnenräder
229, 230 Planetenräder
231, 232 Hohlräder
233, 234 Verdrehsicherungen
235, 236 Kupplungen
237, 238 Lenkstangen
239, 240 Muttern Kugelgewindetribe
241, 242 Kugelgewindetribe
243, 244 Wegsensoren
245 Trennungsbereich der Lenkstangen
246 Koppelstab
247 Druckfeder Koppelstab
248, 249 Innenringe Axial-Schräggugellager
250, 251 Axial-Schräggugellager
252, 253 Kupplungsscheiben
254 elektromechanischen Kupplung
255, 256 Außenringe Axial-Schräggugellager
257, 258 Kraftsensoren
259 Lenkwinkeldifferenz
260 mechanisch begrenzter Stellbereich
261 Polkörper
262 Druckfeder elektromechanischen Kupplung
263 Kupplungssensor
264 Spule
265 Kupplungsfläche
266, 267 Mitnehmerscheiben
268, 269 innere Anschläge Koppelstab
270, 271 äußere Anschläge Koppelstab
272, 273 Motoransteuerung
274 Kugeln Kugelgewindeantrieb
275, 276 mechanischen Anschläge Lenkstangen-Hohlwelle
277 Endstück Koppelstab
278, 279 Bewegungsrichtung Lenkstange
280, 281 Gehäuse Stellaggregate
282 Kupplung zwischen Stellaggregaten

Patentansprüche

1. Fahrzeuglenkung,
 mit einer vom Fahrer betätigbaren Lenkbetätigungseinrichtung, insbesondere Lenkhandrad,
 mit mindestens einem Betätigungskraftsimulator,
 mit jeweils einem elektromechanischen Stellaggregat zum Steuern jeweils eines rechts und links an einem Fahrzeugkörper befindlichen lenkbaren Rades eines Radpaares einer lenkbarer Fahrzeugachse,
 mit Mitteln, die bei einem Ausfall oder einer Störung eines der beiden einer lenkbaren Fahrzeugachse zugeordneten Stellaggregate durch das jeweils andere, noch funktionstüchtige Stellaggregat die Steuerung der beiden Fahrzeugräder dieser Fahrzeugachse sicherstellen,
 mit mindestens einem von der Lenkbetätigungseinrichtung betätigbaren Sollwertgeber für einen einzustellenden Lenkwinkel,
 mit mindestens einem den Lenkwinkel der Fahrzeugräder registrierenden Istwertgeber,
 mit einer Zentralsteuereinheit, die in Abhängigkeit von einem Vergleich eines Signals des Istwertgebers (Istwert) mit einem Signal des Sollwertgebers (Sollwert) die elektromechanischen Stellaggregate steuert,
 und mit einer Datenübertragungseinheit, die eine Datenverbindung zwischen der Zentralsteuereinheit und den elektromechanischen Stellaggregaten herstellt.
 2. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jedes elektromechanische Stellaggregat jeweils von einer unabhängigen Energieversor-

gungsquelle versorgt wird.

3. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zentralsteuereinheit "fail-silent" ausgebildet ist und eine redundante Rechneinheit aufweist.

4. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Stellaggregate "fail-silent" ausgebildet sind und zumindest jeweils einen elektromechanischen Aktor und jeweils eine redundante elektronische Baueinheit aufweisen.

5. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronischen Baueinheiten der Stellaggregate eine Fehlererkennung basierend auf lokalen aktorspezifischen Signalen, wie Aktorstrom oder Aktorposition durchführen und bei einem erkannten Fehler eine entsprechende Meldung an das System der Fahrzeuglenkung ausgeben und das fehlerhafte Stellaggregat abschalten.

6. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrzeuglenkung zwei Sollwertgeber für den einzustellenden Lenkwinkel und zwei den Lenkwinkel der Fahrzeugräder registrierende Istwertgeber aufweist.

7. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der/die Sollwertgeber für den einzustellenden Lenkwinkel und der/die den Lenkwinkel der Fahrzeugräder registrierenden Istwertgeber redundant ausgeführt sind.

8. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Datenübertragungseinheit ein zumindest zwischen den Stellaggregaten und der Zentralsteuereinheit doppelt ausgeführter Datenbus vorgesehen ist.

9. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Datenübertragungseinheit zwischen den Stellaggregaten und der Zentralsteuereinheit jeweils ein Datenbus vorgesehen ist.

10. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Zentralsteuereinheit mit einem Fahrzeugbussystem, insbesondere CAN, verbunden ist, zum Empfang von Informationen über den insbesondere aktuellen Fahrzeugzustand.

11. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Lenkbetätigungseinrichtung antriebsmäßig mit einem mechanischen oder mechanisch-hydraulischen, ersten Betätigungskraftsimulator verbunden ist, zur Simulation eines bestimmten, vorgegebenen Betätigungswiderstands und dass die Lenkbetätigungseinrichtung mit einem elektrisch betätigbaren, vorzugsweise parameterabhängigen, zweiten Betätigungskraftsimulator, wirkungsmäßig verbunden ist, der nach Maßgabe zumindest des Istwerts und/oder gegebenenfalls weiterer Signale, insbesondere dynamische Fahrzeugzustands-Signale, wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Fahrzeug-Gierwinkel oder Fahrbahnzustands-Signale, den zweiten Betätigungskraftsimulator steuert.

12. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Zentralsteuereinheit mit einem elektronischen Fahrzeugbremssystem, insbesondere einem elektromechanischen Bremssystem (EMB), verbunden ist.

13. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Zentralsteuereinheit der Fahrzeuglenkung und eine Zentralsteuereinheit des elektronischen Fahrzeugbremssystem als einzelne Module in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet sind.

14. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass für die Fahrzeuglenkung und das elektronische Fahrzeugbremssystem eine gemeinsame Zentralsteuereinheit vorgesehen ist.

15. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweils zwei elektromechanischen Stellaggregate zum Steuern jeweils eines rechts und links an einem Fahrzeugkörper befindlichen lenkbaren Rades eines Radpaares einer lenkbaren Fahrzeugachse in Verbindung mit mindestens einer Lenkstange als ein Achslenkmodul ausgebildet sind.

16. Achslenkmodul für eine Fahrzeuglenkung, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 15, mit zwei elektromechanischen Stellaggregaten, die jeweils einen elektrischen Elektromotor aufweisen und die jeweils einem rechts und links an einem Fahrzeugkörper befindlichen lenkbaren Rad eines Radpaares einer lenkbaren Fahrzeugachse zugeordnet sind und miteinander über eine Verbindungseinrichtung verbindbar sind, so dass die beiden lenkbaren Räder über ein einziges Stellaggregat verschwenkbar sind.

17. Achslenkmodul nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrzeuglenkung zumindest eine als Schubstange ausgebildete Lenkstange aufweist, die in ihrer Verlängerung verbindbar ist mit Spurstangen für die beiden lenkbaren Räder und bei der koaxial Lenkstangenachse die zwei Elektromotoren vorgesehen sind, die jeweils einen Rotor aufweisen, der über eine Übertragungseinrichtung mit einem Rotations-Translationswandler verbunden ist, zur Einkopplung eines Motormoments auf die mindestens eine Lenkstange, um bei Betätigung zumindest eines Elektromotors über ein Verschieben der mindestens einen Lenkstange die Lenkfunktion des Achslenkmoduls sicherzustellen.

18. Achslenkmodul nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Übertragungseinrichtung Mittel zur direkten Kopplung mit dem Rotations-Translationswandler aufweisen.

19. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotations-Translationswandler ein Gewindetrieb, vorzugsweise ein Kugelgewindetrieb, ist.

20. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotations-Translationswandler antriebsmäßig verbunden ist mit mindestens einer zumindest in einem Bereich oder Teilbereich des Achslenkmoduls gewindestangenartig ausgebildeten Lenkstange (Gewindestange), die von mindestens einer Gewindemutter umgeben ist und mit dieser verbunden ist über dazwischen angeordnete Wälz- oder Rollkörper mit einer zum Gewinde der mindestens einen Gewindestange passenden Profilierung.

21. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Übertragungseinrichtungen Getriebe oder Kupplungen, vorzugsweise Planetengetriebe, sind.

22. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromotor einen Stator mit einer Wicklung koaxial zur Lenkstange umfasst und einen um diesen drehgelagerten Rotor mit Permanentmagneten, vorzugsweise Seltenerd- oder Neodym-Magnete, aufweist.

23. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor des Elektromotors über die Übertragungseinrichtung mit der

Gewindemutter des Gewindetriebs spielfrei und form-schlüssig rotatorisch gekoppelt ist.

24. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor des Elektromotors zumindest in einem Teilbereich als ein Teil der Übertragungseinrichtung, vorzugsweise als ein Sonnenrad eines Planetenradgetriebes ausgebildet ist.

25. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass jedem Stellaggregat zumindest zwei Elektronikeinheiten zugeordnet sind und im Fall eines Fehlers eines der beiden Elektronikeinheiten die jeweils andere, noch funktionstüchtige Elektronikeinheit die Steuerung des Stellaggregats übernimmt.

26. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass im Fall eines Fehlers eines Stellaggregats bzw. eines Elektromotors, durch das noch funktionstüchtige Stellaggregat bzw. den Elektromotor die Schwenkbewegung der Räder durchgeführt wird, wobei die Baueinheit des fehlerhaften Stellaggregats rein mechanisch durch eine mechanische Kopplung über die Verbindungseinrichtung, insbesondere über die mindestens eine Gewindemutter und den mindestens einen Gewindetrieb mitschleppt werden.

27. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass zur Aufnahme der entstehenden Stellkräfte auf die mindestens eine Lenkstange mindestens ein Lager, vorzugsweise ein Axial-Schräggugellager, vorgesehen ist, das einen Innenring aufweist, zur Aufnahme der Gewindemutter und zumindest eines Bauteils der Übertragungseinrichtung, vorzugsweise von Planetenträgern eines Planetenradgetriebes oder einer Kupplung, und das einen Außenring aufweist, zur Einleitung der entstehenden Stellkräfte in ein Gehäuse oder ein mit dem Gehäuse kraftschlüssig verbundenem Bauteil des Achslenkmoduls.

28. Achslenkmodul nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass dem Außenring des Lagers mindestens ein Kraftsensor zugeordnet ist, zur Erfassung der wirkenden Stellkräfte und zur Rückkopplung dieser ermittelten Stellkräfte an die Handbetätigungseinrichtung, vorzugsweise Handlenkrad der Fahrzeuglenkung.

29. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator des Elektromotors an einem Gehäuse oder ein mit dem Gehäuse kraftschlüssig verbundenem Bauteil des Achslenkmoduls angeordnet ist und der Rotor der Elektromotors über ein Festlager und ein Loslager mit einem Gehäuse oder ein mit dem Gehäuse kraftschlüssig verbundenem Bauteil des Achslenkmoduls drehbar gelagert sind.

30. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 18 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Stellaggregat als Übertragungseinrichtungen ein Planetenradgetriebe aufweist, dessen Sonnenrad als Bauteile des Rotors ausgeführt ist und sich gegen ein Hohlrad abstützt, das Teil des Außenrings eines Lagers zur Aufnahme der Stellkräfte ist.

31. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass den zwei Stellaggregaten eine gemeinsame als Schubstange ausgebildete Lenkstange, vorzugsweise eine gemeinsame Gewindestange, und ein gemeinsamer Rotations-Translationswandler, insbesondere einer gemeinsamen Gewindemutter und gemeinsamen dazwischen angeordneten Wälz- oder Rollkörpern, zugeordnet ist, um bei Betätigung zumindest eines Stellaggregats über ein Verschieben der Lenkstange die Lenkfunktion des Achslenkmo-

duls sicherzustellen.

32. Achslenkmodul nach einem der Ansprüche 16 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass jedem der beiden Stellaggregate jeweils eine als Schubstange ausgebildete Lenkstange, vorzugsweise jeweils eine Gewindestange, und jeweils ein Rotations-Translationswandler, insbesondere jeweils eine Gewindemutter und jeweils dazwischen angeordnete Wälz- oder Rollkörpern, zugeordnet ist und dass beiden Stellaggregaten eine Verbindungseinrichtung zugeordnet ist, um die beiden Stellaggregate zu verbinden und bei Betätigung eines Stellaggregats über ein Verschieben der zwei verbundenen Lenkstangen die Lenkfunktion des Achslenkmoduls sicherzustellen.

33. Achslenkmodul nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindungseinrichtung eine elektromechanische Kupplung aufweist, die Kupplungsscheiben aufweist, die mit Innenringen von zwei Lagern, vorzugsweise Axial-Schräggugellagern, kraftschlüssig verbunden sind, die zur Aufnahme der auf die zwei Lenkstangen entstehenden Stellkräfte dienen und dass im unbestromten Zustand die beiden Kupplungsscheiben durch ein elastisches Mittel, vorzugsweise eine Druckfeder, gegeneinander gepresst werden und eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den zwei Rotations-Translationswandlern der Stellaggregate herstellen.

34. Achslenkmodul nach Anspruch 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, dass ein bestimmter maximaler Verstellbereich der zwei Lenkstangen gegeneinander vorgegeben wird mittels mechanischer Anschläge, die nur einen bestimmten Lenkstangen-Differenzweg der zwei Lenkstangen relativ zueinander zulassen.

35. Achslenkmodul nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teilbereich der einen von den beiden Lenkstangen als eine Hohlwelle ausgebildet ist, die zwei Anschläge aufweist und dessen Hohlraum von einer mit der anderen Lenkstange verbundenen Koppelstange durchdrungen wird, die ein hohlwellenseitiges Endstück aufweist, das zwei innere Anschläge und zwei äußere Anschläge aufweist, die im Zusammenwirken mit zwei gegen die Anschläge abstützbaren Mitnehmerscheiben und einer an den Mitnehmerscheiben sich abstützenden Druckfeder nur einen bestimmten Lenkstangen-Differenzweg der zwei Lenkstangen relativ zueinander zulässt.

36. Achslenkmodul nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass bei geschlossener elektromechanischer Kupplung die Koppelstange eine Ausgangsstellung definiert, bei der die Druckfeder eine maximale Länge aufweist und sich durch die beiden Mitnehmerscheiben auf die zwei äußeren Anschläge der Koppelstange und die beiden Anschläge der Hohlwelle abstützt und dass bei geöffneter elektromechanischer Kupplung eine erste und eine zweite Endstellung definiert wird, welche den maximalen Lenkstangen-Differenzweg festlegen, wobei bei der ersten Endstellung die Druckfeder eine minimale Länge aufweist und sich durch die beiden Mitnehmerscheiben einerseits auf einen ersten Anschlag der Hohlwelle und andererseits auf einen zweiten äußeren Anschlag der Koppelstange abstützt und wobei bei der zweiten Endstellung die Druckfeder eine minimale Länge aufweist und sich durch die beiden Mitnehmerscheiben einerseits auf einen zweiten Anschlag der Hohlwelle und andererseits auf einen ersten äußeren Anschlag der Koppelstange

abstützt.

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

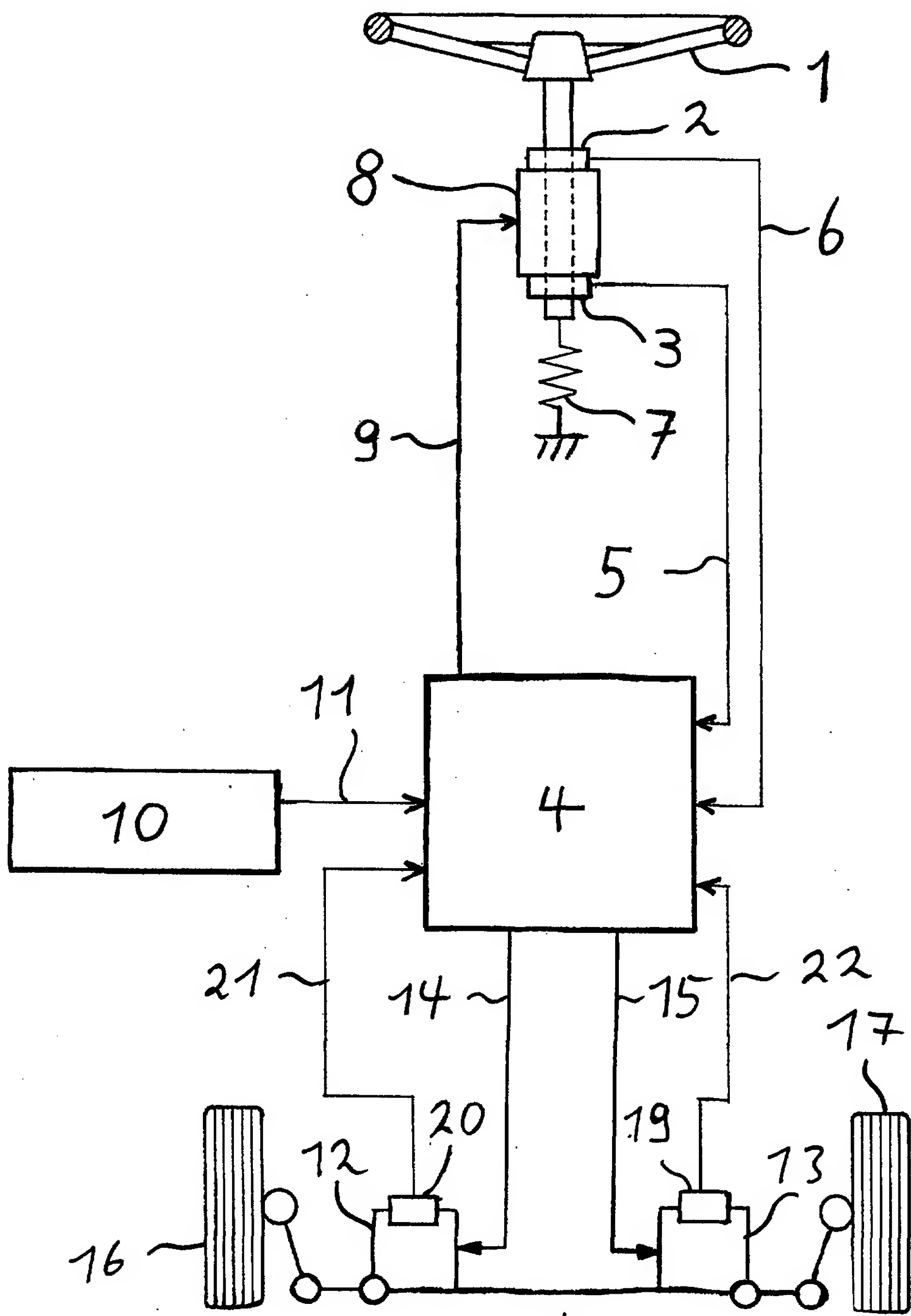


Fig. 1

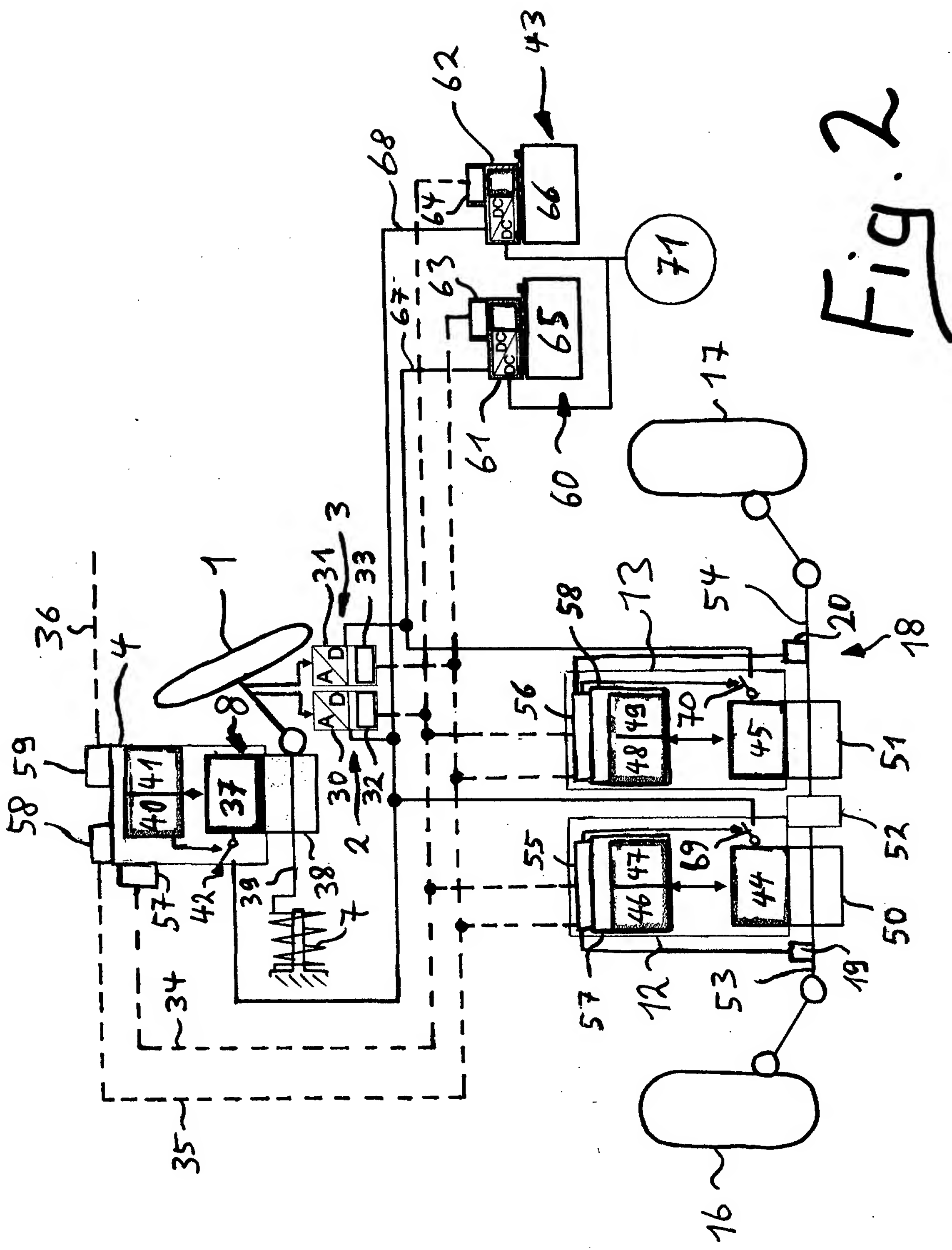


Fig. 2

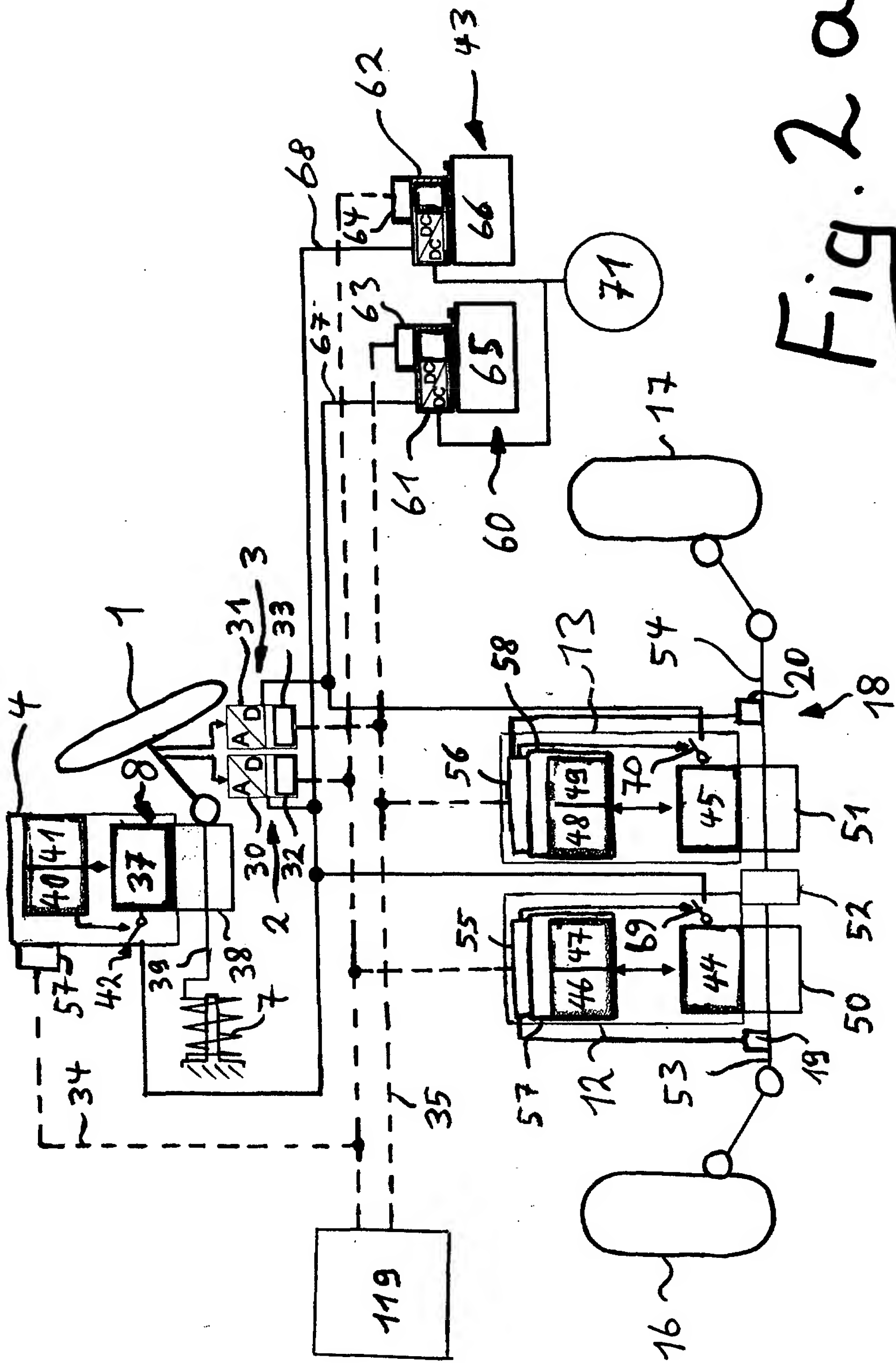


Fig. 2a

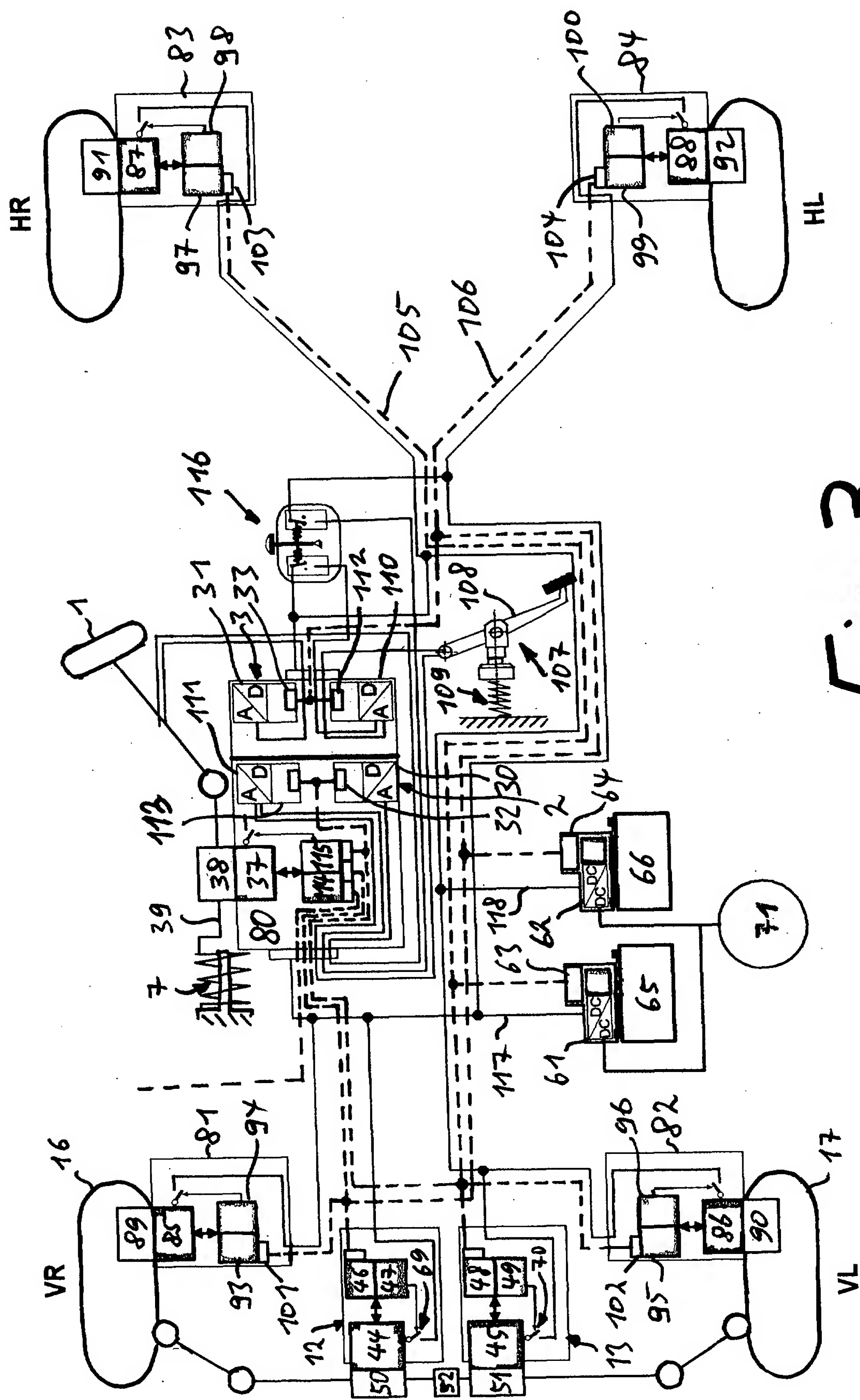
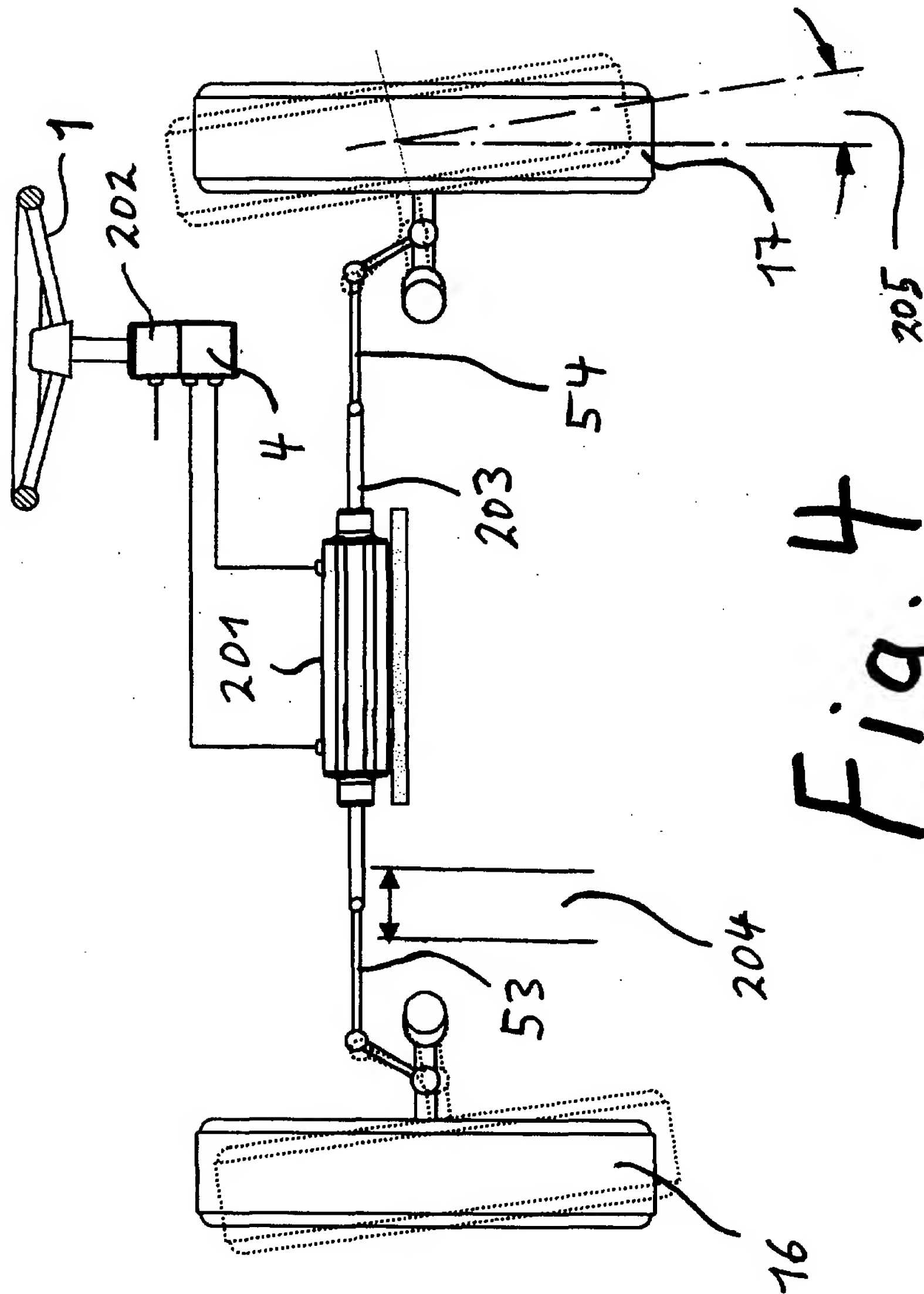


Fig. 3



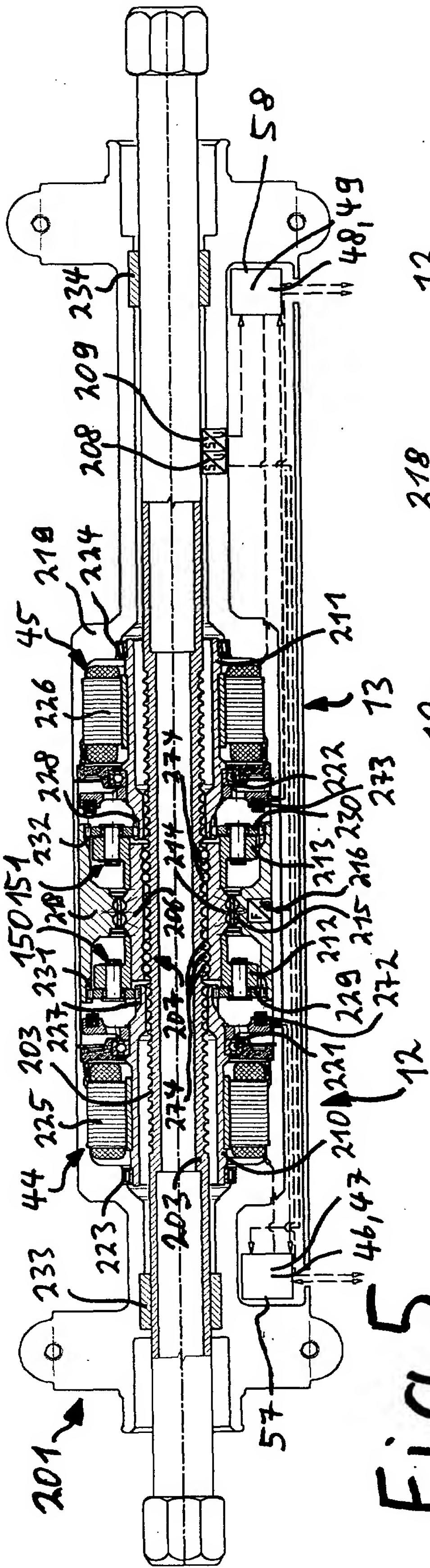


Fig. 5

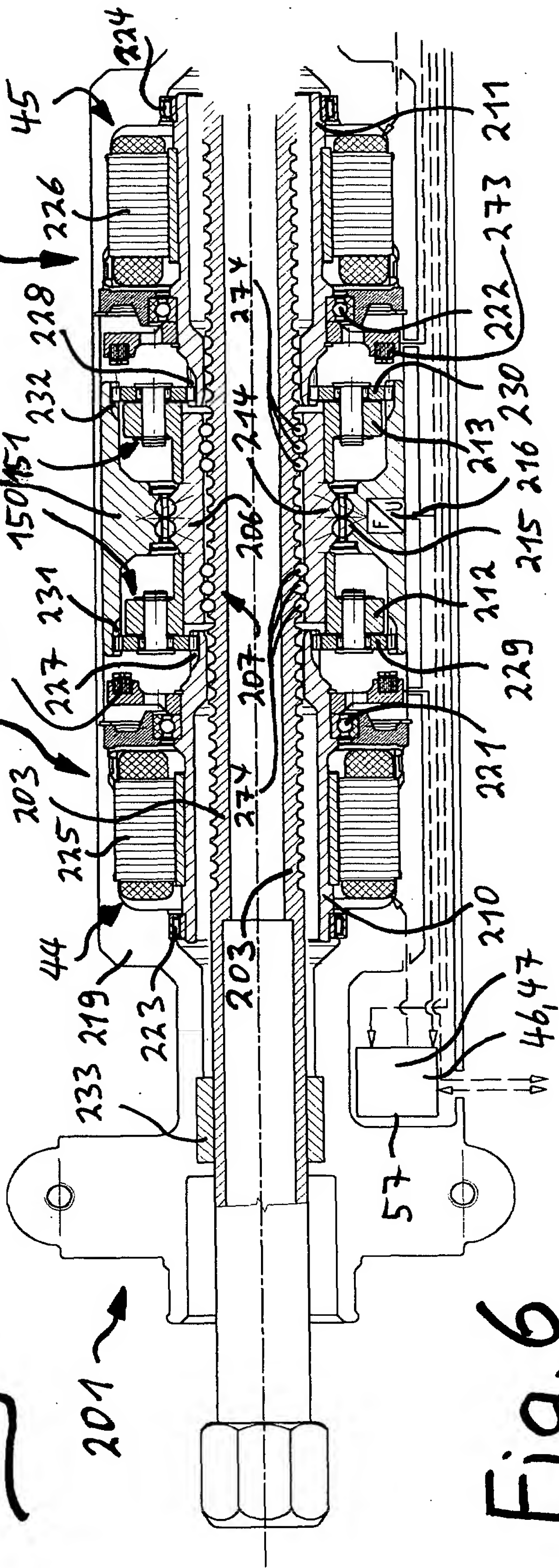


Fig. 6

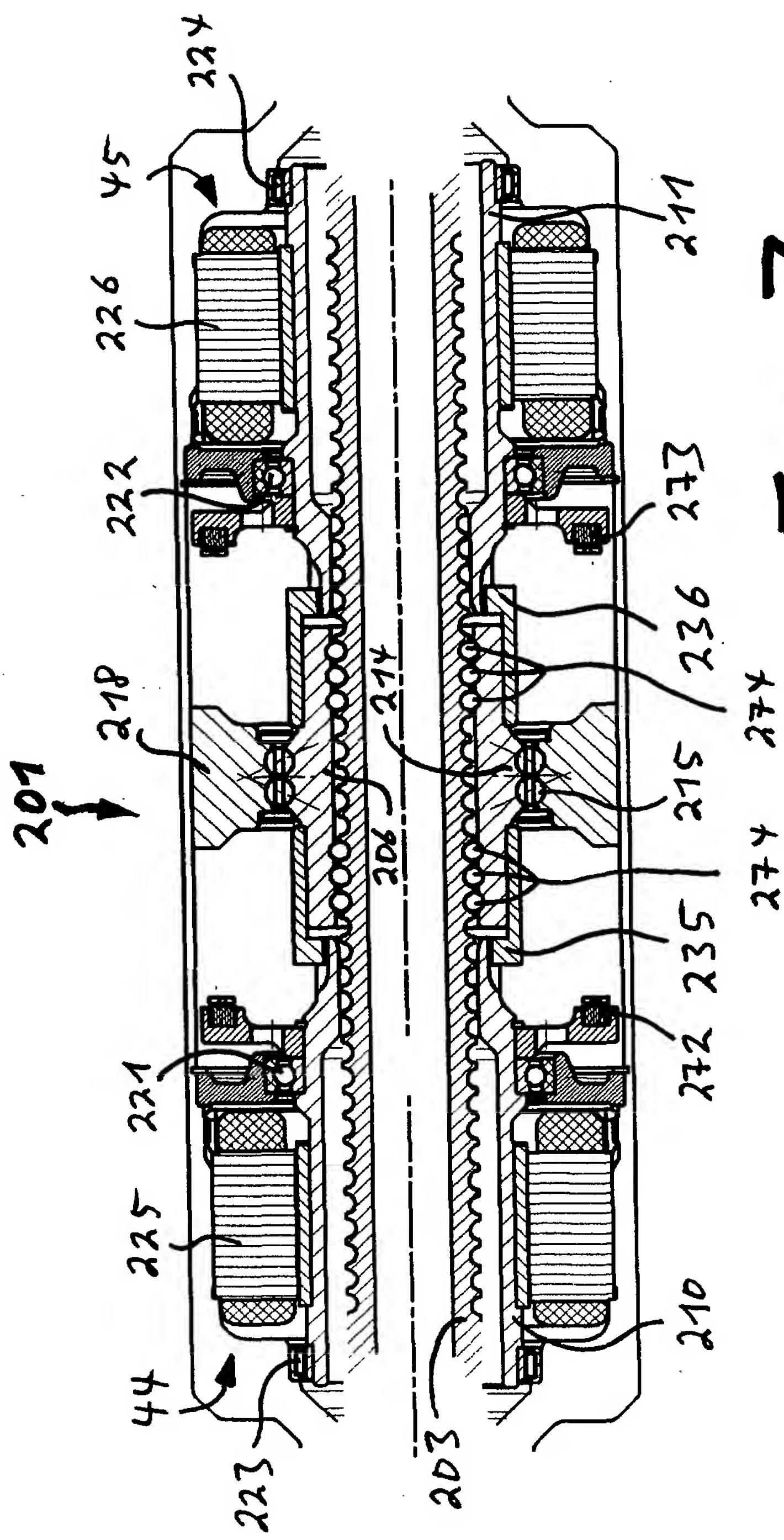
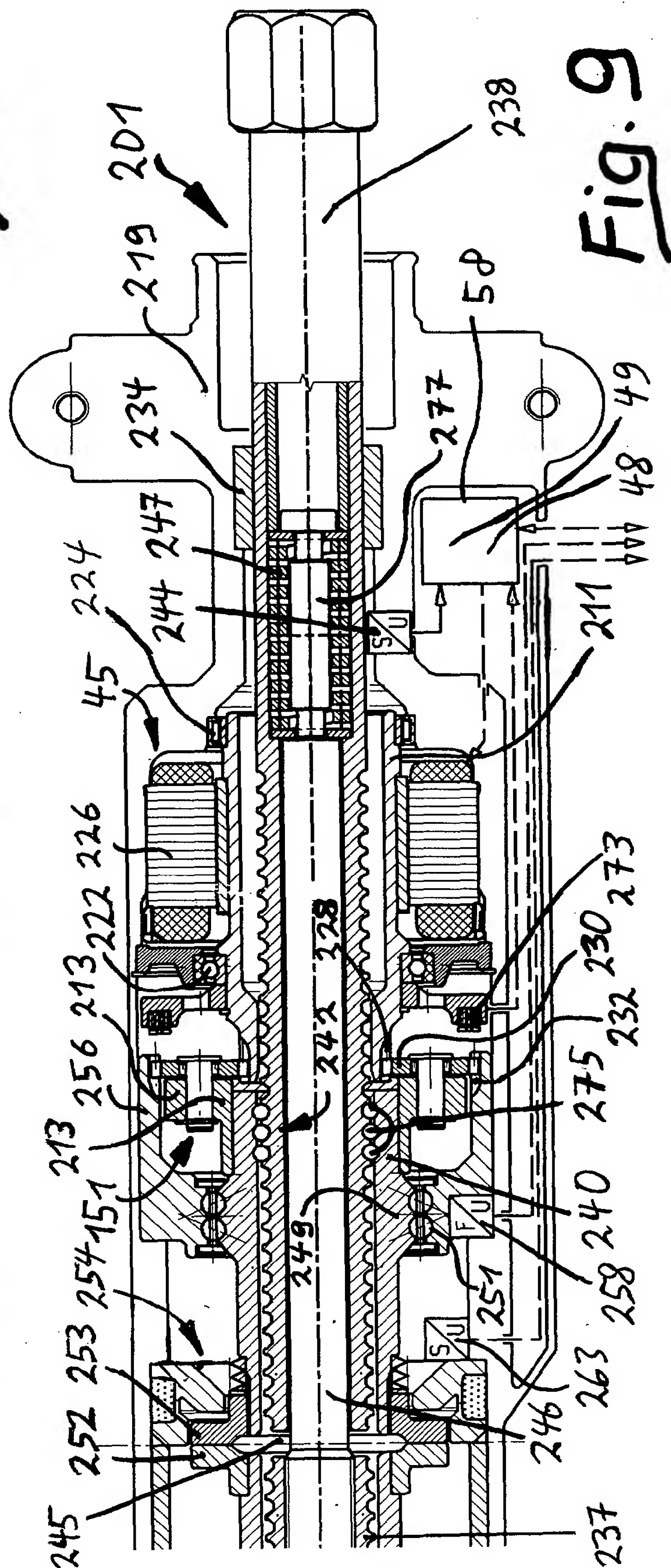
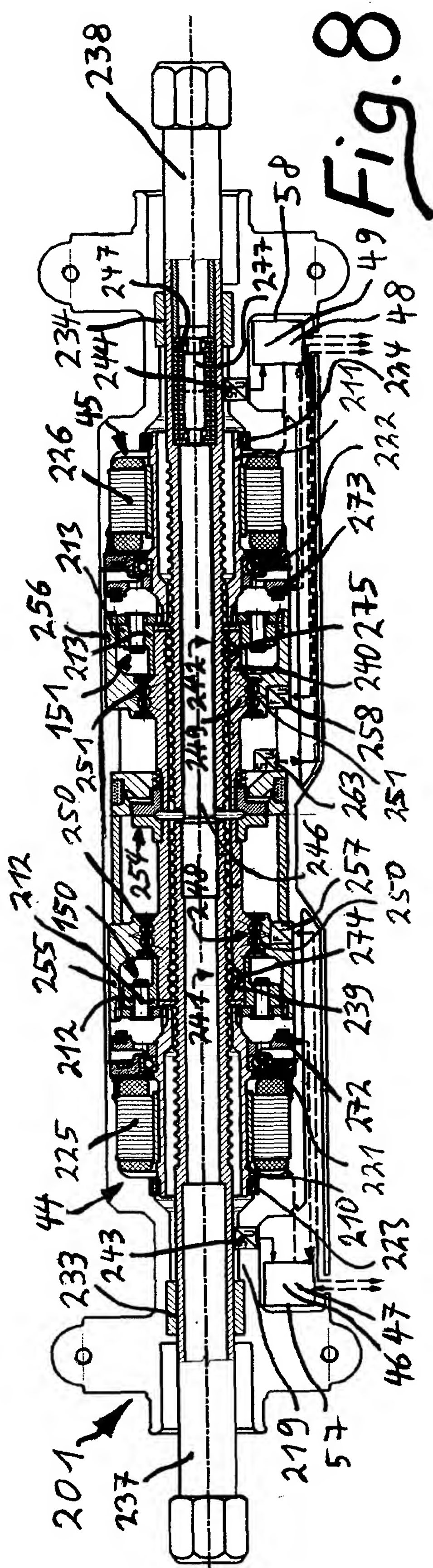


Fig. 7



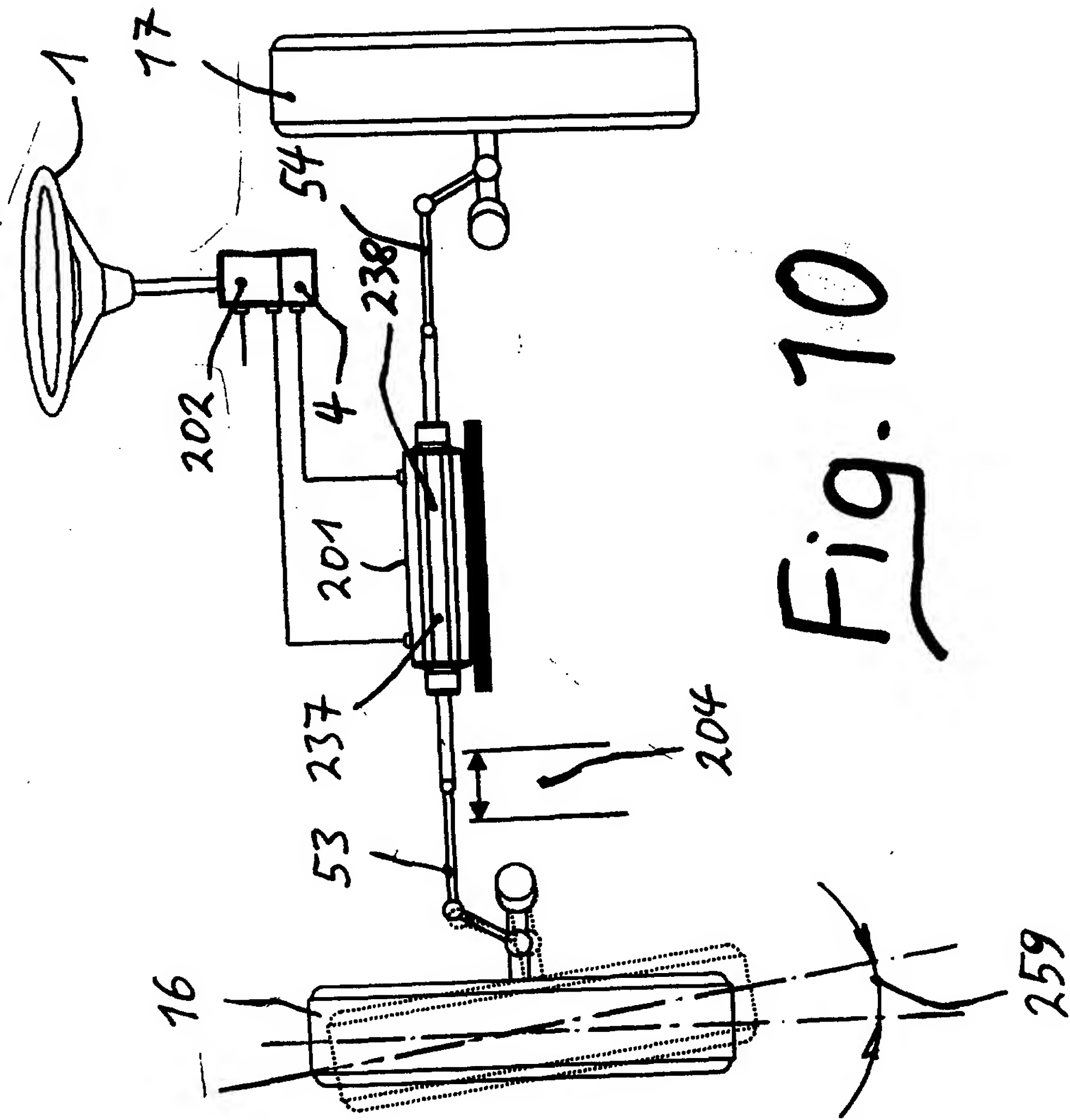


Fig. 10

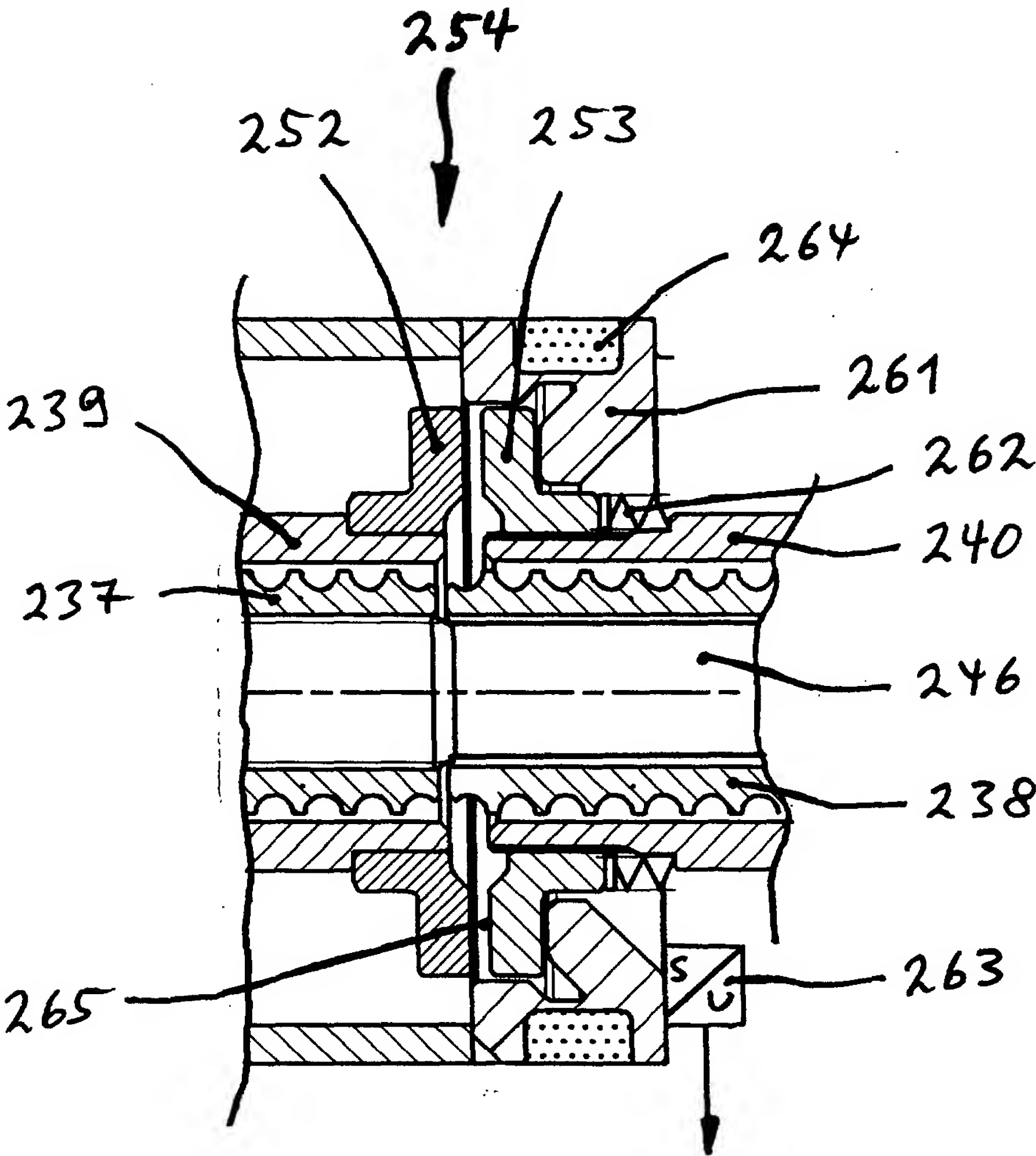


Fig. 11

